This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06644355 1

Naturkräfte.

III.

Ueberſetzungsrecht vom Verfaſſer vorbehalten.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.
OTTENDORFER BRANCH
CIRCULATING LIBRARY

Umkehrung der Natriumlinie. (Fig. 34.)

Das Sonnenspectrum. (Fig. 29.)

Wirkung des Prismas auf einfache Strahlen. (Fig. 30.)

ГІВКУВА
ИВГІС
ИЕЛ АОВК

Die Wärme.

Nach dem

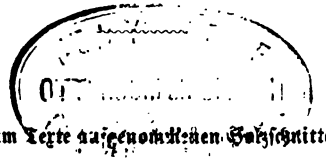
Französischen des Prof. Cazin in Paris

deutsch bearbeitet.

Herausgegeben

durch

Prof. Dr. Phil. Carl.



Mit 92 im Texte aufgenommenen Holzschnitten.

München,

Verlag von R. A. Oldenbourg.

1870.

NEW YORK
PUBLIC
LIBRARY

Die Wärme.

Nach dem

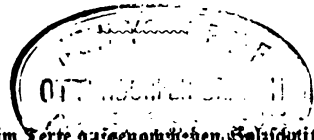
Französischen des Prof. Cazin in Paris

deutsch bearbeitet.

Herausgegeben

durch

Prof. Dr. Phil. Carl.



Mit 92 im Texte aufgenommenen Holzschnitten.

München,

Verlag von R. A. Oldenbourg.

1870.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
587321
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.
R 1913 L

7441

g 536
C
Cop 2

Inhalt.

Erstes Kapitel. Seite.

Allgemeine Wärmeerscheinungen 1

Zweites Kapitel.

Die Experimental-Methode. Das Thermometer. 32

Drittes Kapitel.

Wärmequellen 48

Viertes Kapitel.

Wärmestrahlung 85

Fünftes Kapitel.

Wärmeleitungsfähigkeit der Körper 120

Sechstes Kapitel.

Volumenänderung der Körper 149

Siebentes Kapitel.

Schmelzen und Festwerden 175

Achtes Kapitel.

Verdunstung und Sieden 197

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
587321
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.
R 1913 L

7441

g 536
C
Cop 2

Inhalt.

	Seite.
Erſtes Kapitel.	
Allgemeine Wärmeerſcheinungen	1
Zweites Kapitel.	
Die Experimental-Methode. Das Thermometer.	32
Drittes Kapitel.	
Wärmequellen	48
Viertes Kapitel.	
Wärmeſtrahlung	85
Fünftes Kapitel.	
Wärmeleitungsfähigkeit der Körper	120
Sechſtes Kapitel.	
Volumenänderung der Körper.	149
Siebentes Kapitel.	
Schmelzen und Feſtwerden	175
Achtes Kapitel.	
Verdunſtung und Sieden	197

Neuntes Kapitel.
Veränderung des Aggregatzuſtandes 242

Zehntes Kapitel.
Die Wärme auf der Erde 268

Erſtes Kapitel.

Allgemeine Wärme-Erſcheinungen.

1. Unterſchied zwiſchen dem ſinnlichen Eindruck und der objectiven Erſcheinung.

Wenn wir die uns umgebenden Körper berühren, ſo erkennen wir oft eine gewiſſe Verſchiedenheit in ihrer Art zu ſein; die einen machen uns den Eindruck von Wärme, die andern den der Kälte. Dieſer Unterſchied iſt eben nur ſubjectiv. Unſer Taſtorgan erleidet einen Reiz, der eine Empfindung hervorruft, aus welcher zuletzt ein Urtheil über den Zuſtand des berührten Körpers entſpringt. Die Natur hat uns dieſe eigenthümliche Empfindlichkeit gegeben, um über unſere Erhaltung zu wachen. Doch nicht von dieſer Art Wirkungen ſoll hier die Rede ſein. Wir wollen die Wärme und Kälte außerhalb unſeres Körpers an den bekannten Stoffen beobachten und zuſehen, was in denſelben vorgeht, wenn ſie auf einander durch Berührung einwirken, welche innere Veränderungen ſie erleiden, wenn ſie erwärmt oder abgekühlt werden. Da dieſe Veränderungen Eindrücke auf jeden unſerer Sinne machen, ſo wird auch jeder Sinn bei dem Endurtheil mitzuſprechen haben. Die Hauptrolle ſpielen freilich die Augen bei der Beurtheilung deſſen was vorgeht, wir ſehen

die Wirkungen der Wärme; aber auch unser Gehör, unser Geruch können bei den Beobachtungen zu Hilfe genommen werden. Unser Verstand, alle ihm durch die verschiedenen Empfindungen zugegangenen Anregungen zusammenfassend, weist ihnen schließlich überall die passende Stelle an, und gelangt so zur Erkenntniß der Natur.

Ein schlagendes Beispiel wird uns lehren, auf der Hut zu sein gegen unsere Gefühlseindrücke, wenn es sich um Wärme handelt.

Halten wir die rechte Hand in ein Gefäß mit lauwarmem, die linke in ein Gefäß mit eiskaltem Wasser und bringen darauf beide gleichzeitig in gewöhnliches Wasser. Der rechten Hand wird es kalt, der linken warm erscheinen, und doch ist es in beiden Fällen das nämliche Wasser in ganz demselben Zustande. Aber die Vorbereitung, durch die beide Hände gingen, bevor sie in das gewöhnliche Wasser kamen, war bei jeder eine andere, und daher auch die Empfindung beider eine verschiedene.

Eine ähnliche Bemerkung können wir machen, wenn wir aus einem stark erwärmten Badesaal schnell ins Freie treten; die Luft wird uns kalt erscheinen. Kommen wir dagegen aus einem kühlen Raum, z. B. aus dem Keller, so erscheint dieselbe Luft uns warm *).

*) In solche Gefühlstäuschungen ist Lord Bacon verfallen, als er versuchte, die affirmativen und die negativen Instanzen für die Beurtheilung des Wesens der Wärme aufzustellen. Wärme haben oder warm sind, nach Bacon: 1. Sonnenstrahlen, besonders im Sommer und um Mittag... 3. Die zündenden Blitze. 4. Alle Flammen..... 12. Die Kellerluft im Winter. 13. Wolle und Federn.... 22. Das Vitriolöl... 24. Frische Pferdeäpfel.... 26. Branntwein, Majoranöl, starker Essig, u. s. w. — Kälte haben

Demnach giebt es an und für ſich keinen weſentlichen Unterſchied zwiſchen Wärme und Kälte, wenn wir unſer eigenes Gefühl bei Seite laſſen und die Körper, von denen wir den Eindruck empfingen, an ſich ſelbſt, außer uns, betrachten. Die Erwärmung iſt einfach das Gegentheil von der Abkühlung, und das Wort: Wärme bezeichnet die Urſache dieſer Art von Wirkungen.

Verſuchen wir unter den tauſenden von Beiſpielen, die die Natur uns bietet, diejenigen heraus zu finden, welche in Beziehung zur Wärme ſtehen. Gewiß wird unſer erſter Ueberblick nur unvollſtändig ſein, ſo wie wir indeſſen weiter ſchreiten, wird ſich unſer Beobachtungstalent ausbilden und neue Entdeckungen werden uns überall für unſere Mühe belohnen und uns zu neuen Verſuchen aufmuntern. Es wird uns nicht gelingen, Alles zu ſehen und Alles zu verſtehen, wir wollen aber wenigſtens verſuchen, den beſten Gebrauch von unſerem Faſſungsvermögen und unſeren Hilfsmitteln zu machen.

2. Die Wärme entſteht aus der Bewegung der Atome, welche gewiſſe chemiſche Vorgänge begleitet.

Wir befinden uns mitten im Winter; tiefer Schnee bedeckt die Erde und jeden Fluß eine Eisrinde; in unſerem Zimmer brennt ein luſtiges Feuer — giebt es wohl eine beſſere Gelegenheit zum Beginn unſerer Unterſuchungen?

---

oder kalt ſind: 1. Die Mondſtrahlen. 2. Sonnenſtrahlen in der mittleren Region der Erde. 3. Die kalten Blitze. 4. Sanct Elmsfeuer, Leuchten des Meeres... 12. Kellerluft im Sommer... 28. Schnee macht beim Reiben die Hände der Kinder warm..... (S. J. von Liebig, über Francis Bacon von Verulam.)

Anm. d. Ueberſ.

Was iſt das Feuer? Was geht eigentlich in unſerem Kamine vor?

Wir ſind hier genöthigt, bei der Chemie anzufragen, aber eben nur, um derſelben ohne Anſtrengung einige ſehr einfache Begriffe zu entnehmen. Das Feuer brennt in dem Luftſtrom, welcher durch die Fugen der Thüre und Fenſter ins Zimmer tritt und über die Kohlen hinweg ſeinen Ausweg durch den Rauchfang ſucht. Die Luft erleidet aber, während ſie das Feuer anfacht, eine Veränderung. Luft iſt aus zwei Elementen zuſammengeſetzt: aus Stickſtoff und Sauerſtoff. Der Sauerſtoff vereinigt ſich mit der Kohle, er geht mit derſelben eine ſogenannte *chemiſche Verbindung* ein; daraus entſteht kohlenſaures Gas, welches in Gemeinſchaft mit dem Stickgas durch die Kaminröhre ins Freie entweicht.

Wenn wir uns über die Art der Thätigkeit, welche ſich in dieſem chemiſchen Vorgange kundgiebt, klar werden wollen, ſo müſſen wir uns zunächſt ſowohl Sauerſtoff, als auch Kohle, aus einzelnen Theilchen beſtehend, denken, die man *Atome* nennt. Dieſe Atome ſtürzen ſich auf einander und bleiben vereinigt, ſobald ſie ſich nahe genug gekommen. Der Zuſammenſtoß der Atome iſt die Urſache der Verbrennung, welche zu gleicher Zeit Licht und Wärme hervorbringt; Wärme, die wir fühlen, eine Flamme, die wir ſehen.

Aber kann man ſich bei einem chemiſchen Prozeß nicht auch eine Entwickelung von Wärme ohne Licht denken? Gewiß, und hier ein Beiſpiel unter tauſenden:

Miſchen wir Schwefelpulver mit Eiſenfeile, füllen damit ein in die Erde gegrabenes Loch, bedecken die Miſchung mit Erde und begießen ſie. Nach einiger Zeit erhitzt ſich die Maſſe von ſelbſt, dehnt ſich aus, durchbricht die Erddecke, und wir ſehen Dampf daraus aufſteigen. Nikolas Lemery,

ein Chemiker des ſiebenzehnten Jahrhunderts, der in einer kleinen Apotheke ſeiner Vaterſtadt ausgebildet, ſpäter zu großer Berühmtheit gelangte, hatte dieſes Experiment erſonnen, um damit das Weſen der Vulkane zu erklären, und wenn es auch heutzutage nicht mehr dieſen Zweck erfüllt, ſo bleibt es doch immer ein intereſſantes Beiſpiel chemiſcher Verbindung. Das Eiſen und der Schwefel vereinigen ſich unter dem Einfluß von Waſſer zu einem feſten braunen Körper, den man Schwefeleiſen nennt. In dem Augenblick ihrer Vereinigung wird Wärme allein ohne Licht entwickelt. Die Wärme entſteht alſo durch die Bewegung der kleinſten Theilchen der Materie. Verfolgen wir ihre Wirkungen, ſo werden wir ſtets eine der Wärme entſprechende Bewegung finden.

Unterſuchen wir nun zunächſt, auf welche Weiſe die Wärme aus dem Feuerherd auf die umgebenden Körper übergeht.

3. Uebertragung der Wärme durch Strahlung.

Das Feuer, das uns aus der Ferne durch die Luft hindurch wärmte, können wir vermittelſt eines hölzernen Ofenſchirmes von uns abhalten. Die Stoffe, aus denen das Holz zuſammengeſetzt iſt, halten die Wärme auf, wie undurchſichtige Körper das Licht aufhalten. Erſetzen wir dagegen den hölzernen Schirm durch eine Glasplatte, ſo fühlen wir das Feuer, während wir zugleich die Flamme hinter der Glasſcheibe flackern ſehen. Und zwar empfinden wir die Wärme nicht etwa, weil ſie ſich zuerſt der Glasſcheibe mittheilt und von da aus auf unſer Gefühl einwirkt, denn die Wirkung iſt augenblicklich, dagegen braucht Glas eine verhältnißmäßig lange Zeit zur Erwärmung.

Es verhält ſich mit der Verbreitung der Wärme gerade

wie mit der des Lichtes. Wenn die Sonne uns ihre Strahlen ins Zimmer ſendet, ſo dringen Wärme und Licht gleichzeitig durch die Glasſcheiben unſerer Fenſter, beide werden dagegen durch die Mauern des Hauſes aufgehalten. Die Sonne iſt ein großer Feuerherd, 20 Millionen Meilen von unſerer Erde entfernt, ſo weit alſo, daß man beinahe fünftauſend Jahre brauchte, um mit der Schnelligkeit von einer halben Meile in der Stunde hin zu gelangen, und doch brauchen die Sonnenſtrahlen nicht mehr als acht Minuten, um uns zu erreichen. Man kann ſich am beſten einen Begriff von dieſer Verbreitung machen, wenn man ſich eine auf der Sonne entſtandene Bewegung denkt, die ſich von Ort zu Ort durch den Himmelsraum fortpflanzt, ungefähr wie die kleinen zirkelrunden Wellen, welche ein Steinwurf auf einem glatten Waſſerſpiegel erzeugt, ſich ſtufenweiſe von dem Mittelpunkte nach dem Ufer verbreiten, wo ſie verſchwinden. Wir können die Bewegung der Wellen mit dem Blicke verfolgen, denn ihre Schnelligkeit iſt nicht ſehr groß. Nehmen wir aber eine Schnelligkeit an, die zwei oder drei Millionen Mal ſo groß iſt, ſo haben wir einen Begriff von der Fortpflanzung der Sonnenſtrahlen. Unſere Feuerherde wirken ganz in derſelben Art; ſie ſind der Mittelpunkt von Bewegungen und gleichen kleinen Sonnen von ſehr kurzer Dauer; ihre Strahlung folgt dem allgemeinen Geſetz, und es ſcheint, daß jeder Lichtſtrahl der Sitz einer eigenthümlichen Bewegung iſt.

4. Uebertragung der Wärme durch Leitung.

Die Wärme verbreitet ſich noch auf eine andere Weiſe. Stecken wir das Ende einer Eiſenſtange ins Feuer, ſo ſind wir nach kurzer Zeit nicht im Stande, das andere Ende in der Hand zu behalten. Die Eiſenſtange iſt durch eine

Bewegung, welche in ihrem Innern von Schicht zu Schicht, von Partikel zu Partikel ſchreitet, allmählich erhitzt. Dieſe Erſcheinung nennt man die Wärmeleitung. An Holz iſt ſie weniger augenfällig, man kann ſehr gut das Ende eines Holzſcheites in der Hand halten, während das andere in Flammen ſteht: darum ſagt man: das Holz iſt ein ſchlechter Wärmeleiter, das Eiſen dagegen ein guter Wärmeleiter.

Wir haben jetzt alſo zwei Arten von Wärme-Erſcheinungen, die Strahlung und Leitung. Wenden wir unſere Aufmerkſamkeit jetzt auf die Körper ſelbſt, welche die Wärme empfangen, um die Wirkungen derſelben zu klaſſifiziren.

5. Verbrennung der Körper durch Einwirkung der Wärme.

Ein Zündhölzchen, das man dem Feuer nähert, ohne daß es die Kohlen berührt, entzündet ſich. Die Wärmeſtrahlen vermögen alſo, wenn ſie gewiſſen Subſtanzen begegnen, deren Verbrennung zu bewirken. Der Phosphor, mit welchem die Spitze des Hölzchens beſtrichen iſt, hat ſich hier in der Luft erwärmt; er bildet mit dem Sauerſtoff einen weißen Stoff, der ſich in Rauch auflöſt, Phosphorſäure genannt. Dieſe Erſcheinung iſt derjenigen ähnlich, welche ſich beim Einäſchern der Kohlen zeigt. Es iſt eine chemiſche Verbindung, von Licht- und Wärmeentwickelung begleitet; die entwickelte Wärme veranlaßt die Entzündung des Schwefels, den der Phosphor bedeckt, derart daß er ſich auch mit dem Sauerſtoff der Luft verbindet und dadurch ſchweflichte Säure in Gasform erzeugt. Dieſe Verbrennung bewirkt endlich auch die des Hölzchens.

Unterſuchen wir den Vorgang im Phosphor, da derſelbe ſich in allen andern Fällen auf dieſelbe Weiſe wiederholt.

wie mit der des Lichtes. Wenn die Sonne uns ihre Strahlen ins Zimmer ſendet, ſo dringen Wärme und Licht gleichzeitig durch die Glasſcheiben unſerer Fenſter, beide werden dagegen durch die Mauern des Hauſes aufgehalten. Die Sonne iſt ein großer Feuerherd, 20 Millionen Meilen von unſerer Erde entfernt, ſo weit alſo, daß man beinahe fünftauſend Jahre brauchte, um mit der Schnelligkeit von einer halben Meile in der Stunde hin zu gelangen, und doch brauchen die Sonnenſtrahlen nicht mehr als acht Minuten, um uns zu erreichen. Man kann ſich am beſten einen Begriff von dieſer Verbreitung machen, wenn man ſich eine auf der Sonne entſtandene Bewegung denkt, die ſich von Ort zu Ort durch den Himmelsraum fortpflanzt, ungefähr wie die kleinen zirkelrunden Wellen, welche ein Steinwurf auf einem glatten Waſſerſpiegel erzeugt, ſich ſtufenweiſe von dem Mittelpunkte nach dem Ufer verbreiten, wo ſie verſchwinden. Wir können die Bewegung der Wellen mit dem Blicke verfolgen, denn ihre Schnelligkeit iſt nicht ſehr groß. Nehmen wir aber eine Schnelligkeit an, die zwei oder drei Millionen Mal ſo groß iſt, ſo haben wir einen Begriff von der Fortpflanzung der Sonnenſtrahlen. Unſere Feuerherde wirken ganz in derſelben Art; ſie ſind der Mittelpunkt von Bewegungen und gleichen kleinen Sonnen von ſehr kurzer Dauer; ihre Strahlung folgt dem allgemeinen Geſetz, und es ſcheint, daß jeder Lichtſtrahl der Sitz einer eigenthümlichen Bewegung iſt.

4. Uebertragung der Wärme durch Leitung.

Die Wärme verbreitet ſich noch auf eine andere Weiſe. Stecken wir das Ende einer Eiſenſtange ins Feuer, ſo ſind wir nach kurzer Zeit nicht im Stande, das andere Ende in der Hand zu behalten. Die Eiſenſtange iſt durch eine

Bewegung, welche in ihrem Innern von Schicht zu Schicht, von Partikel zu Partikel ſchreitet, allmählich erhitzt. Dieſe Erſcheinung nennt man die Wärmeleitung. An Holz iſt ſie weniger augenfällig, man kann ſehr gut das Ende eines Holzſcheites in der Hand halten, während das andere in Flammen ſteht: darum ſagt man: das Holz iſt ein ſchlechter Wärmeleiter, das Eiſen dagegen ein guter Wärmeleiter.

Wir haben jetzt alſo zwei Arten von Wärme-Erſcheinungen, die Strahlung und Leitung. Wenden wir unſere Aufmerkſamkeit jetzt auf die Körper ſelbſt, welche die Wärme empfangen, um die Wirkungen derſelben zu klaſſifiziren.

5. Verbrennung der Körper durch Einwirkung der Wärme.

Ein Zündhölzchen, das man dem Feuer nähert, ohne daß es die Kohlen berührt, entzündet ſich. Die Wärmeſtrahlen vermögen alſo, wenn ſie gewiſſen Subſtanzen begegnen, deren Verbrennung zu bewirken. Der Phosphor, mit welchem die Spitze des Hölzchens beſtrichen iſt, hat ſich hier in der Luft erwärmt; er bildet mit dem Sauerſtoff einen weißen Stoff, der ſich in Rauch auflöſt, Phosphorſäure genannt. Dieſe Erſcheinung iſt derjenigen ähnlich, welche ſich beim Einäſchern der Kohlen zeigt. Es iſt eine chemiſche Verbindung, von Licht- und Wärmeentwickelung begleitet; die entwickelte Wärme veranlaßt die Entzündung des Schwefels, den der Phosphor bedeckt, derart daß er ſich auch mit dem Sauerſtoff der Luft verbindet und dadurch ſchweflichte Säure in Gasform erzeugt. Dieſe Verbrennung bewirkt endlich auch die des Hölzchens.

Unterſuchen wir den Vorgang im Phosphor, da derſelbe ſich in allen andern Fällen auf dieſelbe Weiſe wiederholt.

Die Atome des Phosphors sind unter einander durch eine Kraft verbunden, welche man mit dem Namen: Cohäsion bezeichnet, und die sich der Verbindung des Phosphors mit den Atomen des Sauerstoffs widersetzt. Die Wärmestrahlen aber, die von dem Feuer ausgehen, setzen die Atome in Bewegung, sie wirken in Wahrheit als eine Kraft, die die Cohäsion vernichtet und die Atome frei macht. Darauf verbinden diese sich mit dem Sauerstoff und es entsteht die Phosphorsäure.

Wir haben uns jetzt eine Verbrennung veranschaulicht, welche durch Wärme mit Hilfe der Luft bewirkt wurde. Es giebt indessen Verbrennungen, an denen die Luft durchaus keinen Antheil hat und die man ausführen kann, indem man den Brennstoff in ein durch die Luftpumpe gänzlich luftleer gemachtes Gefäß verschließt.

Weichen wir Baumwolle eine Zeit lang in eine zu gleichen Theilen aus Schwefelsäure und rauchender Salpetersäure bestehende Mischung, waschen sie darauf in Wasser sorgfältig aus, so erhalten wir Schießbaumwolle, d. h. Baumwolle, welche sich mit einer gewissen Quantität Stickstoff und Sauerstoff verbunden hat. Nähern wir dieselbe dem Feuer, so entzündet sie sich augenblicklich und verbrennt, ohne die geringste Spur zu hinterlassen. Die Atome, welche sie bildeten, wurden durch die Einwirkung der Wärme von einander getrennt und verbanden sich darauf wieder in anderer Weise, indem sie Gase bildeten, welche sich in der Luft zerstreuten. Eine genauere Erklärung dieses chemischen Vorganges ist folgende: Die Schießbaumwolle besteht aus Kohle, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff. Wenn nun die Wärme die Atome dieser vier Stoffe getrennt hat, so fliegen sie in folgender Ordnung zusammen: die Kohle und ein Theil des Sauerstoffs bilden

kohlenſaures Gas; der Waſſerſtoff vereinigt ſich mit dem übrigen Sauerſtoff zu Waſſerdampf und der Stickſtoff bleibt frei. Alles dies geht ſo ſchnell vor ſich, daß man die Schießbaumwolle auf ſeiner Handfläche verbrennen laſſen kann, ohne etwas davon zu ſpüren; eine große Flamme lodert auf und verſchwindet in demſelben Augenblick, ohne eine Spur zu hinterlaſſen, wenn die Baumwolle gut zubereitet geweſen.

Demſelben Prozeß begegnen wir beim Abbrennen des Schießpulvers. Das Pulver iſt eine Miſchung von Schwefel, Kohle und Salpeter, die ſich unter Einwirkung der Wärme zerſetzt und in Folge einer neuen Gruppirung der Atome in Kohlenſäure und Stickgas verwandelt mit Hinterlaſſung einer braunen Aſche, welche hauptſächlich aus Schwefelkalium beſteht. Die Verbrennungsgaſe ſind es, welche im Schießgewehre entwickelt, durch ihren Druck auf die Wände der Kammer die Kugel aus dem Lauf treiben.

Die Wirkungen, die wir bis jetzt betrachtet haben, gehören der Chemie an; wir wollen uns nicht länger dabei aufhalten. Sie laſſen uns ſchon in die innere Beſchaffenheit der Körper einen Einblick thun. Dieſelben beſtehen aus geſonderten Theilchen, welche die Cohäſions-Kraft an einander bindet, und welche die Wärme wiederum zu trennen ſucht, indem ſie der Cohäſion entgegen wirkt. Bisher fand ſich, daß dieſe Trennung auch von einer chemiſchen Veränderung der Theilchen, von einer Umſtellung der Atome begleitet war. Die Phyſik im engern Sinne beſchäftigt ſich aber nur mit Erſcheinungen, wo ſolche Veränderungen nicht ſtatthaben, wo die Theilchen ſich hin und her bewegen, ihre gegenſeitige Lage ändern, ohne ſich zu zerſetzen oder neue Stoffe zu bilden. Die beweglichen Theilchen, welche die Phyſik betrachtet, ſind alſo Gruppen von Atomen, *welche ſich gemeinſchaftlich bewegen*, ohne ſich

ſonſt zu verändern. Solche Theilchen oder Syſteme von Atomen nennt man zur Unterſcheidung Moleküle. So beſteht alſo z. B. das Waſſer aus einer Anhäufung gleichartiger Moleküle, deren jedes ſich aus zwei Atomen Waſſerſtoff und einem Atom Sauerſtoff zuſammenſetzt. Wir werden uns fernerhin mit Erſcheinungen beſchäftigen, wo es ſich nur um die Bewegungen der Moleküle, nicht aber um Trennung der Atome handelt.

6. Veränderung des Volumens der Körper durch Einwirkung der Wärme.

Nimmt man eine kupferne Kugel und einen Ring, durch den ſie ohne Anſtoß hindurch geht, und läßt das Feuer eine Zeit lang auf die Kugel einwirken, bis ſie ſtark genug erhitzt iſt, ſo wird dieſelbe den Ring nicht mehr paſſiren können. Folglich hat die Kugel an Umfang zugenommen. Sobald ſie abgekühlt iſt, geht ſie wieder leicht hindurch. Das Kupfer wird demnach durch Wärme ausgedehnt, durch Kälte zuſammengezogen. Alſo iſt eine der phyſikaliſchen Wirkungen der Wärme die Veränderung des Volumens der Körper.

Um dieſe Veränderung zu begreifen, ſtellen wir uns vor, daß die Theilchen ſich einander nähern oder von einander entfernen, ohne ſich jedoch zu berühren, weil eine gewiſſe zwiſchen ihnen beſtehende Kraft ſie auseinanderhält, gleichwie die Schwerkraft die Erde und die anderen Planeten in einer beſtimmten Entfernung von der Sonne erhält, und um all' die unzähligen Himmelskörper, die den Weltraum erfüllen, ein gemeinſames Band ſchlingt; denn jeder Stern iſt eine Sonne, die ſich mit ihrem Gefolge von kleineren Planeten auf der Bahn bewegt, welche ihr von des Schöpfers Hand vorgezeichnet iſt. Halten wir dieſe Aehnlichkeit zwiſchen der

Welt der Moleküle und der Sternenwelt feſt. Ein allgemeines Geſetz beſtimmt ihre Bewegungen und ordnet ihre Stellungen. Noch haben wir das Geſetz nicht entdeckt, aber es iſt ſchon viel, daß wir ſeine Exiſtenz vermuthen, daß wir mit gleicher Bewunderung die Harmonie anſtaunen, welche in beiden durch ihre Größenverhältniſſe ſo verſchiedenen Welten herrſcht. Die eine in unendlich kleinen Maſſen, welche wir berühren können, die andere in unendlich großen, die in ihrer unermeßlichen Entfernung nur durch Fernröhre unſerem Auge enthüllt werden.

7. Das Schmelzen und Feſtwerden.

Nehmen wir einen Eiszapfen und legen denſelben auf einen Teller, den wir dem Feuer nähern, ſo ſchmilzt er; an ſeiner ſtatt erhalten wir daſſelbe Gewicht flüſſigen Waſſers. Setzen wir dieſes Waſſer nun der kalten Winterluft aus, die draußen herrſcht, ſo gefriert es wieder und wird zu Eis.

Dieſe Umwandlung iſt eine Wärme-Wirkung. Um das Eis zu ſchmelzen, unterwirft man es der Einwirkung von Körpern, die einen höheren Wärmegrad beſitzen als es ſelbſt, um das Waſſer dagegen gefrieren zu machen, läßt man Körper, die kälter ſind als es ſelbſt, darauf einwirken. Beide Operationen ſind von derſelben Art, die eine iſt die Umkehr der andern. Die Sonne führt dieſelben Erſcheinungen nach und nach auf einem mit Schnee bedeckten Felde herbei. Unter ihren erwärmenden Strahlen ſchmelzen die weißen Nadeln, deren zierliche Formenbildungen wir an den Zweigen der Bäume bewundert haben, und fallen in Waſſertropfen verwandelt zur Erde. Die Schneedecke, welche den Boden vor den zu ſchroffen Veränderungen der Atmoſphäre ſchützt, wird allmählich dünner, das durch ihre Schmelzung entſtandene

Waſſer zieht ſich in den Boden ein und giebt den darin ſchlummernden Samenkörnern neues Leben und Fruchtbarkeit. Kommt dann aber die Nacht mit ihrem lichten Sternenhimmel, ſo hört das Werk der Schmelzung auf. Die löſende Kraft iſt verſchwunden, aber mehr als das; da die Himmelsräume viel kälter ſind als das Eis, ſo gefriert auch ein Theil des tagüber entſtandenen Waſſers wieder, und es bedarf deshalb vieler ſonniger Tage. um die Schneedecke vollſtändig aufzuthauen. So keimt das neue Leben allmählich hervor, ohne daß man die üblen Wirkungen eines zu haſtigen Wechſels zu fürchten hat.

8. Verdunſtung. Sieden. Condenſation der Dämpfe.

Die Schmelzung iſt eine der Wirkungen, welche die Wärme bei feſten Körpern hervorbringt, es giebt aber noch eine andere Wirkung, die ſich bei einigen feſten, beſonders aber bei flüſſigen Körpern offenbart. Legt man bei ſtarkem Froſt ein wenig Schnee auf einen Teller, ſo kann derſelbe ganz und gar verſchwinden, ohne daß ſich Waſſer gebildet hat. Legt man ein Stückchen Kampher in ein großes Glasgefäß, ſo wird es ebenfalls allmählich verſchwinden. Kleine Kryſtalltheile ſetzen ſich hier und da an den Wänden des Glaſes an und ändern ihren Platz, ſo oft man das Gefäß in eine andere Stellung bringt. Wie erklären wir uns das?

An der Oberfläche des Kamphers bildet ſich ein Dampf, deſſen Theilchen ſich, wie die aller Gaſe, abſtoßen und nach allen Seiten zerſtreuen. Treffen nun einige derſelben auf eine kalte Stelle der Glaswand, ſo ſchlägt ſich der Dampf an dieſer Stelle in Kryſtallform nieder, der Kampher wird wieder feſt. Die Wärme *verflüchtigt* ihn alſo, die Kälte führt ihn in den feſten Zuſtand über. Dieſem Umſtande

verdanken wir auch den Geruch dieser Substanz. Die Kampherdämpfe steigen uns in die Nase und wirken chemisch auf das Geruchsorgan. Ebendasselbe gilt für alle Körper, die einen Geruch besitzen. Bekanntlich befördert die Wärme alle Gerüche.

Besonders leicht verdampfen Flüssigkeiten. Nach dem Regen trocknet die Sonne sehr schnell die Steine des Straßenpflasters, und man kann das offenbar nicht dem Einziehen des Wassers in den Erdboden zuschreiben. Feuchten wir ein Stück Papier, das wir zuvor gewogen, mit Wasser an, und wiegen es nochmals, nachdem jede Spur von Feuchtigkeit daraus verschwunden. Es wird genau dasselbe Gewicht haben, als vor dem Anfeuchten. Wo ist also das Wasser geblieben? Es hat sich in Dampfform mit der Luft unseres Zimmers vermischt, weshalb es für uns unsichtbar geworden. Will man diese Dämpfe wieder in ihren vorigen flüssigen Zustand versetzen, so hat man nur nöthig, eine Karaffe mit frischem Wasser aus dem Keller zu holen und sogleich bedeckt sich die Oberfläche des Glases mit einem feinen Thau. Die Karaffe hat die Luft des Zimmers abgekühlt, und die in derselben enthaltenen Wasserdämpfe sind dadurch wieder verdichtet. Die Atmosphäre, welche unsere Erdkugel umgiebt und eine Schicht von etwa fünfzehn Meilen bildet, enthält die Wasserdämpfe, welche aus der Ausdünstung der Meere, Ströme und Flüsse bestehen. Wenn der Himmel recht rein ist, so schwebt dieses Wasser in der Luft als ein durchsichtiges und unsichtbares Gas, aber verschiedene Ursachen bewirken hier und da einen Niederschlag, und so entstehen je nach den Umständen Wolken, Regen, Hagel oder Schnee. Wir werden alle diese Erscheinungen der Reihe nach näher betrachten und die allgemeinen Gesetze zu enthüllen suchen, welchen sie alle unterworfen sind.

Nehmen wir *unsere Untersuchungen* wieder am Feuerherd

auf. Wir sehen in einem offenen Gefäß Wasser kochen, die Dämpfe steigen daraus in Form von kleinen Rauchwölkchen empor, und wir sehen Bläschen sich von den Wänden des Gefäßes loslösen und an der Oberfläche der Flüssigkeit zerplatzen. Auch das ist eine Verwandlung der Flüssigkeit in Dämpfe, aber statt oberflächlich zu sein geht sie an verschiedenen Punkten im Innern der Masse vor sich. Diese Erscheinung ist das Sieden. Die Wirkung der Wärme ist hier dieselbe, wie bei der Verdampfung, nur ist sie hier viel lebhafter und auf eine größere Anzahl von Punkten vertheilt.

Demnach zeigt das Wasser sich in drei verschiedenen Zuständen: als Eis, als Flüssigkeit und als Dampf oder Gas. Seine Theilchen bleiben immer dieselben, aber sie stehen in jedem der drei Zustände in einer andern Beziehung zu einander; im festen Körper findet eine starke Anziehungskraft unter ihnen statt, in der Flüssigkeit können sie sich ungehindert durch einander bewegen, als Gas stoßen sie einander ab und üben einen Druck gegen die Hindernisse aus, welche sich ihrer Ausbreitung entgegenstellen. Diese Betrachtungen gelten für eine große Anzahl von Stoffen.

9. Mechanische Wirkungen der Wärme.

Versuchen wir uns durch ein kleines Experiment, das wir uns leicht durch Betrachtung der Figur 1 veranschaulichen können, eine Idee von der Ausdehnungs-Kraft der Wasserdämpfe zu machen.

Die Figur stellt eine kupferne Kugel dar, die von einem kleinen mit Rädern versehenen Gestell getragen wird. Die Kugel ist hohl, und man hat sie durch ein Ansatzrohr mit Wasser gefüllt, darauf dieses Rohr mit einem Korkpfropfen hermetisch verschlossen und in horizontale Lage gebracht. Nun

zündet man eine kleine, unter der Kugel befindliche Spiritus-lampe an. Die Flamme erwärmt das Waſſer, und ſiehe da, plötzlich fährt der Kork mit großer Gewalt aus der Röhre hinaus und wird ein Ende weit fortgeſchleudert. Es folgt ein Strom von Waſſerdämpfen und die Maſchine bewegt ſich lebhaft rückwärts. Analyſiren wir dieſes Experiment.

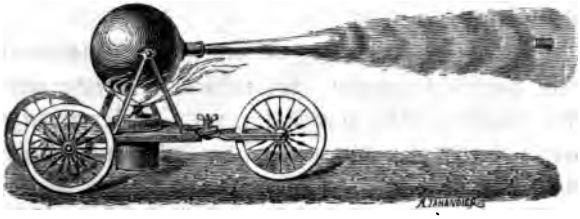


Fig. 1.

Die Wärme der Flamme hat das Waſſer in Dämpfe aufgelöſt, und die Theilchen derſelben drängen ſich nach allen Seiten an die innere Fläche der ſie einſchließenden Kugel, wie lauter kleine, gegen dieſelbe gerichtete Springfedern. Eine Bewegung der Kugel können ſie trotzdem nicht hervorbringen, weil ſie eben vorwärts und rückwärts mit gleicher Kraft andrängen und daher das Gleichgewicht erhalten wird. Der Pfropfen aber kann nicht den gleichen Widerſtand leiſten, wie die metallenen Wände der Kugel, er giebt nach, und während er vorn herausgetrieben wird, bewirkt der Druck gegen die hintere Wand den Rückprall des Geſtells.

Beim Abfeuern eines Schießgewehrs findet etwas ganz Aehnliches ſtatt. Der Jäger ſtützt den Kolben ſeiner Flinte feſt auf die Schulter, um der Kraft des Rückſtoßes zu widerſtehen, denn die durch das Verbrennen des Pulvers im Flintenlauf entwickelten *Dämpfe wirken* ganz in derſelben Weiſe,

wie die Waſſerdämpfe bei dem eben beſprochenen Experiment. In beiden Fällen ſehen wir eine mechaniſche Wirkung, deren Urſache die Wärme iſt. Die Wärme iſt alſo im Stande, mechaniſche Kraft hervorzubringen, Hinderniſſe zu beſeitigen und Waſſer in Bewegung zu ſetzen. Hierauf beruhen nun auch die Dampfmaſchinen; ſie arbeiten, indem ſie Brennmaterial verbrauchen, ſie verwandeln alſo Wärme in mechaniſchen Nutzeffect.

Seit einigen Jahren hat die Theorie der Maſchinen ſo große Fortſchritte gemacht, daß es wohl der Mühe lohnt, einen Augenblick dabei zu verweilen, um die hieher gehörigen Fragen zu erörtern. Wir werden, der größeren Einfachheit wegen, das Princip der Wärmeverwandlung nicht an einer eigentlichen Dampfmaſchine, ſondern an einer Luftmaſchine erörtern. Bekanntlich wirken die caloriſchen oder Feuer-Maſchinen entweder durch Dampf, oder durch erhitzte Luft oder ſonſtige Gaſe. Die ſehr genauen Verſuche von Hire in Kolmar haben das Problem für die Dampfmaſchine gelöſt. Wir können uns damit begnügen, ein Experiment mit der höchſt einfach und elegant combinirten Warmluftmaſchine anzuſtellen, welche kürzlich von Laubereau angegeben worden iſt. Allerdings können wir es nicht vermeiden, dem Leſer eine kleine Anſtrengung zuzumuthen, aber es handelt ſich hier um eine Entdeckung der neueſten Zeit, welche in der Wiſſenſchaft eine wahre Revolution hervorgebracht hat.

10. Jede Feuermaſchine verbraucht Wärme, indem ſie Arbeit leiſtet.

Wir beginnen mit der Beſchreibung unſerer Maſchine, welche in den Figuren 2 und 2^b perſpectiviſch und im Durchſchnitt dargeſtellt iſt. Sie beſteht aus zwei ſenkrechten kupfer-

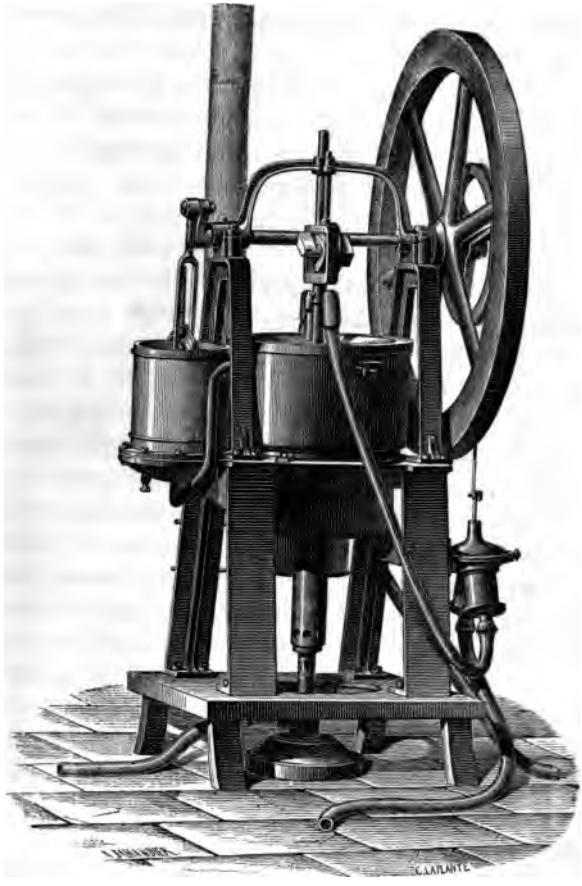


Fig. 2. Luftmaſchine.

nen Cylindern, welche durch eine Röhre verbunden ſind. In dem kleineren linker Hand befindet ſich ein voller Kolben, der auf- und niederſteigend den horizontalen Wellbaum der Maſchine durch eine Bläuelſtange und Kurbel in Drehung verſetzt. Auf dem Wellbaum ſitzt ein gußeiſernes Schwungrad, welches dazu dient, die Umdrehungsgeſchwindigkeit zu reguliren, und eine (in der Figur nicht angegebene) Welle, um die ein durch Gewicht geſpanntes Seil geſchlungen iſt. Die Arbeit der Maſchine ſoll darin beſtehen, daß ſie dieſes Gewicht hebt. Wenn die Maſchine in einer Werkſtatt arbeitet, ſo wird das Gewicht durch einen Laufriemen und eine Rolle erſetzt, durch welche die Bewegung auf ein Werkzeug übertragen wird. Die Arbeit, welche dies Werkzeug verrichtet, iſt gleichwerthig mit der Erhebung eines Gewichts auf eine beſtimmte Höhe. Man iſt übereingekommen, die Arbeit durch das Product aus Höhe und Gewicht zu meſſen, oder dieſelbe in Fußpfunden auszudrücken. Die Einheit, — das Fußpfund, — bedeutet alſo: ein Pfund einen Fuß hoch gehoben. Eine zehnmal größere Arbeit, alſo zehn Fußpfunde, entſpricht einem Pfunde, welches auf 10 Fuß Höhe gehoben wird, oder 10 Pfunde auf 1 Fuß hoch, oder 5 Pfund 2 Fuß hoch gehoben, u. ſ. w.*)

Sehen wir nun zu, wie durch die Einwirkung der Wärme der Kolben ſich hebt. Der größere der beiden Cylinder iſt oben und unten geſchloſſen. Sein unterer Boden iſt glocken-

*) Die franzöſiſche Einheit iſt das Kilogrammeter, und da der Meter ungefähr 3 Fuß, das Kilogramm ungefähr 2 Pfund beträgt, ſo entſpricht ein Kilogrammeter ungefähr 6 Fußpfunden. Es iſt zu bedauern, daß in Deutſchland noch immer der alte Wirrwarr der Fuße und Pfunde herrſcht, dem gegenüber die franzöſiſchen Maaße unendlich beſtimmter ſind. Anm. d. Ueberſ.

förmig abgerundet, um durch Kohlen auf einem Roſt oder auf andere Weiſe bequem erhitzt werden zu können. Bei der abgebildeten Maſchine beſteht die Feuerung in einer Gasflamme. Der obere Boden iſt ebenfalls abgerundet, aber doppelt; zwiſchen den Wänden deſſelben ſtrömt kaltes Waſſer, welches durch eine ſehr einfache, von der Maſchine bewegte Pumpe zugeführt wird; dieſes Waſſer verhindert die Erwärmung des obern Bodens. Endlich befindet ſich in dem Cylinder eine Gypsmaſſe zwiſchen zwei Metallglocken, von

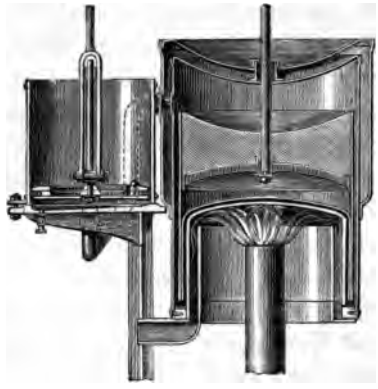


Fig. 2b.

denen immer eine ſich genau an den einen der beiden Böden anſchließt, wenn die ganze Maſſe gehoben wird oder ſich ſenkt. Die Bewegung dieſer Maſſe wird aber durch eine Stange bewirkt, welche in derſelben befeſtigt iſt; dieſe Stange geht durch den obern Boden und hängt mit dem Wellbaum durch eine Kurbel zuſammen, deren Stellung ſich nach derjenigen des Kolbens im kleinen Cylinder richtet. Der kleine Cylinder iſt nach oben offen.

Wir haben hier alſo eine Luftmaſſe in den beiden (durch ein Rohr verbundenen) Cylindern eingeſchloſſen. Dieſe innere Luft wirkt auf den Kolben im kleinen Cylinder von unten nach oben, ſie ſucht ihn zu heben, während der atmo-

ſphäriſche Druck auf die freie Oberfläche des Kolbens von oben nach unten wirkt. Man begreift, daß der Kolben ſich heben wird, wenn der innere Druck ſtärker iſt als der der Atmoſphäre, und ſich ſenken, wenn derſelbe ſchwächer iſt. Die Wirkung des Feuers und des kalten Waſſerſtromes oder Kühlers iſt es, welche dieſe Veränderungen des Druckes hervorrufen. Denken wir uns in der erſten Periode die Gypsmaſſe gegen den Kühler gedrückt; die Wärme des Feuers erhitzt die in der Maſchine enthaltene Luft, vergrößert ihre elaſtiſche Kraft und der Kolben ſteigt. Iſt er in einem gewiſſen Punkt ſeines Weges angelangt, ſo beginnt die zweite Periode; der Gyps läßt ſich auf die Wand der Feuerung nieder und da er ein ſchlechter Leiter iſt und alſo wenig Wärme hindurch läßt, ſo hört die Wirkung des Feuers auf die Luft auf; dieſe kühlt ſich ab, indem ſie ihre Wärme dem kalten Waſſer mittheilt, ihre elaſtiſche Kraft nimmt ab und der Kolben ſenkt ſich. Zugleich aber ſteigt wieder die Gypsmaſſe; die Wärme des Feuers wirkt von neuem auf die Luft, erhitzt ſie und die Bewegung ſetzt ſich fort durch die einfache Ortsveränderung der Gypsmaſſe, welche eine Art von Schirm bildet, der abwechſelnd die Wirkung des Feuers und des Kühlers hemmt, und deſſen Glockenform dazu dient, die innere Luft ſo viel als möglich, zuerſt vor der Berührung mit der warmen, und darauf wieder mit der kalten Wand, zu ſchützen.

Den Mechanismus verſtehen wir jetzt, ſchreiten wir alſo zu unſerm Experiment.

Die kleine Maſchine ſteht mit ihrer Feuerung in einer von Eis umgebenen Kiſte. Wir haben die Kohlen gewogen und uns verſichert, daß das Eis recht trocken iſt, indem wir einen Krahn öffneten, durch welchen alles durch Schmelzung bereits entſtandene *Waſſer abfließen* konnte.

Paſſend angebrachte Oeffnungen geben der Luft Zutritt, um die Verbrennung der Kohlen zu befördern, und die Verbrennungsgaſe entweichen durch einen Rauchfang, nachdem ſie eine ſchlangenförmige, durch das Eis geführte, Röhre paſſirt haben, ſo daß ſie ganz abgekühlt ſind. Die Maſchine iſt in Ruhe geſetzt. Jetzt hat die Wärme des Feuers keine andere Wirkung als Schmelzung des Eiſes. Nach Ablauf einer gewiſſen Zeit wiegen wir einerſeits die übriggebliebenen Kohlen und ziehen ihr Gewicht von dem ab, welches ſie zu Anfang des Experiments gehabt. Anderſeits fangen wir das durch Schmelzung gewonnene Waſſer auf und wiegen es gleichfalls: ſein Gewicht ſteht in einem ganz beſtimmten Verhältniß zu der Quantität entwickelter Wärme und folglich auch zu dem Gewicht der verbrauchten Kohlen, derart, daß wenn wir bei einem zweiten Verſuch die Operation von längerer Dauer ſein laſſen, um z. B. die doppelte Quantität Eis zu ſchmelzen, wir auch den doppelten Verbrauch von Kohlen feſt ſtellen. Um das Ergebniß kurz zuſammenzufaſſen, ſagen wir: aus vielfältigen Meſſungen geht hervor, daß man durch die Verbrennung eines beſtimmten Gewichts von Kohlen immer ein ca. 100 Mal ſo großes Gewicht Eis ſchmelzen kann.

Setzen wir nach dieſer erſten Beobachtung die Maſchine wieder in Thätigkeit und meſſen wir wie vorher das Gewicht der verbrauchten Kohlen, dasjenige des geſchmolzenen Eiſes, die Höhe des durch den Baum der Maſchine gehobenen Gewichtes, ſowie auch den Betrag dieſes Gewichtes ſelbſt. Nehmen wir der Einfachheit wegen an, der Kohlenverbrauch ſei derſelbe wie vorhin; werden wir auch ebenſoviel Eis geſchmolzen finden?

Vor einigen Jahren noch würde ein Gelehrter, den man

darum befragt hätte, wahrſcheinlich mit Ja geantwortet haben. Denn die Quantität der durch die Verbrennung derſelben Kohlenmenge entwickelte Wärme iſt dieſelbe, ob die Maſchine arbeitet oder ruht, und man wußte damals noch nicht, in welch' inniger Beziehung Wärme und Bewegung zu einander ſtehen. Heute iſt man weiter vorgeſchritten.

Dieſelbe Kohlenmenge, daſſelbe Wärmequantum, ſchmilzt ein geringeres Gewicht Eis, wenn die Maſchine arbeitet, als wenn ſie ſtille ſteht. Beſteht die Arbeit in der Erhebung von 100 Pfund auf 30 Fuß Höhe, ſo fehlt an dem Schmelzwaſſer 1 Loth, für die doppelte Arbeit, alſo für 6000 Fußpfund fehlen 2 Loth, u. ſ. w. Der Verluſt iſt immer in einfacher Proportion mit der geleiſteten Arbeit.

Wir ſchließen aus dieſen Beobachtungen, daß Wärme *verſchwindet* oder *verbraucht* wird, während mechaniſche Arbeit geleiſtet oder ein Widerſtand von der Maſchine überwunden wird. Wir müſſen alſo auf unſere Liſte der Wärme-Erſcheinungen jetzt auch die *mechaniſchen Wirkungen* der Wärme ſetzen. Bisher haben wir dieſelbe dazu angewendet, das Volumen der Körper zu ändern, feſte Körper zu ſchmelzen, flüſſige in Dampf zu verwandeln; wie wir ſehen, kann ſie ferner als bewegende Kraft benutzt werden, und dann verräth keine der vorigen Wirkungen ihre Gegenwart. Wenn man nur Rückſicht auf dieſe Wirkungen nimmt, ſo verſchwindet die bei der mechaniſchen Arbeit verbrauchte Wärme. In Wirklichkeit aber kann nichts vernichtet werden. Die Erhebung des Gewichtes in unſerem Verſuch iſt eine Bewegung, welche ſich nach einer anderen Bewegung abmißt, die wir Wärme nennen, die unſeren Augen verborgen iſt, die wir aber begreifen, wenn wir unſern Verſtand zur Hilfe unſerer Sinne aufrufen. Der Weg dazu iſt lang und

beschwerlich, und ehe man von den Wirkungen zu den Ursachen vorzudringen sucht, muß man diese Wirkungen kennen. Die Beschreibung der Wirkungen ist allein der Zweck dieses Buches.

Nach dem eben beschriebenen Experiment wird die folgende Frage leicht zu lösen sein, und sie wird uns einen neuen Gesichtskreis eröffnen.

11. Beziehung zwischen der thierischen Wärme und der mechanischen Arbeit.

Denken wir uns einen Mann in ein Behältniß eingeschlossen, welches derart eingerichtet ist, daß man sowohl die Wärme, welche sein Körper ausstrahlt, als auch die Quantität Sauerstoff messen kann, die er beim Athmen der Luft entzieht. Wird er, wenn er sich ruhig verhält, oder wenn er eine mechanische Arbeit ausführt, z. B. das Aufziehen eines Gewichtes vermittelst einer Winde, in beiden Fällen für die gleiche Quantität Sauerstoff, die er einathmet, auch die gleiche Quantität Wärme entwickeln?

Athmen heißt diejenige Thätigkeit unseres Organismus, welche zum Zweck hat, unserem Blute den in der Luft enthaltenen Sauerstoff zuzuführen. Der Sauerstoff bewirkt in unserem Körper eine langsame Verbrennung und in Folge dessen eine ununterbrochene Wärmeproduction. Man kann die dabei ins Spiel kommende Wärme nach der Quantität des verbrauchten Sauerstoffes berechnen. Nun wird aber bei jeder mechanischen Arbeit ein Theil dieser Wärme definitiv verbraucht und kann nicht mehr dazu dienen, die Temperatur zu erhöhen. Der Beweis dafür ist, daß wir ein mit der vollbrachten Arbeit proportionales Deficit finden, wenn wir die Quantität der zur Erwärmung der benachbarten Körper verwendeten Wärme mit der vergleichen, welche der Körper

wirklich geliefert hat. Es verhält der Menſch ſich hier wie eine Dampfmaſchine und der Verſuch giebt in beiden Fällen das nämliche Reſultat. Herr Hirn hat dieſes Experiment an ſich ſelbſt und Perſonen verſchiedenen Alters und Geſchlechts gemacht und alle Reſultate, zu denen er gelangt iſt, ſtimmen vollſtändig überein.

Man muß nicht glauben, daß der Wärmeverbrauch in Folge der mechaniſchen Arbeit zugleich eine Abkühlung des Körpers hervorruft. Eine etwas lebhafte Arbeit erhitzt gewöhnlich den Körper und ſo kann er auch mehr Wärme ausſtrahlen, als wenn er ruht, verbraucht aber auch eine weit größere Quantität Sauerſtoff, und unſer Princip beſteht deshalb doch. Die Leute, welche mit ihren Händen arbeiten, brauchen mehr Luft zum Athmen, als diejenigen welche ſich mit geiſtiger Arbeit beſchäftigen. Sorge man daher dafür, daß die Werkſtätten geräumig, luftig, und nicht überfüllt ſeien, wenn man ſeine Arbeiter geſund und zu ihrem Tagewerk brauchbar erhalten will.

Außerdem muß auch ihre Nahrung reichlich ſein. Wir ſahen bereits, daß der Sauerſtoff die Verbrennung im Blute vermittelt: das Brennmaterial iſt der verdaute Nahrungsſtoff. Fehlt derſelbe, ſo wird auch die Luft und der Sauerſtoff unnütz. Das Blut führt dann die Subſtanz der Gewebe ſelber in die Circulation und verbrennt dieſelben beim Athmen, der Körper magert ab, und da er der Hauptſache nach aus Kohlenſtoff und Waſſerſtoff beſteht, die mit dem Sauerſtoff zu kohlenſaurem Gaſe und Waſſer verbrennen, ſo kann man ſagen, daß der thieriſche Körper, dem es an Nahrung gebricht, ſich ſelbſt verzehrt, ſo daß nur ein wenig Aſche übrig bleibt.

Die Klaſſe der wärmeerzeugenden Stoffe umfaßt haupt-

ſächlich die zuckerhaltigen Nahrungsmittel und die Spirituoſen, in welchen der Kohlenſtoff und der Waſſerſtoff vorwalten. Daher kommt es, daß Handwerker, die ſchwere Arbeit verrichten, im Gebrauche alkoholiſcher Getränke eine gewiſſe Stärkung finden. Wir brauchen wohl nicht hinzuzufügen, daß ein übermäßiger Genuß dieſe vortheilhafte Wirkung gänzlich aufhebt.

Wir ſind dazu gekommen, die Menſchen und Thiere als Urheber mechaniſcher Arbeiten zu betrachten, die ſie mit Hilfe ihrer Muskeln vollbringen, indem ſie Wärme verbrauchen, gerade wie Dampfmaſchinen. Ihr Wille aber hemmt die Bewegung oder unterhält ſie, vorausgeſetzt, daß ihre Muskeln die der Arbeit angemeſſene Quantität Wärme verbrauchen können. Hier tritt wieder die Ueberlegenheit der lebenden Weſen den Maſchinen gegenüber zu Tage. Wenn eine Dampfmaſchine arbeitet, ſo wird nur ein kleiner Theil der durch die Feuerung erzeugten Wärme zu ihrer mechaniſchen Wirkung angewandt, der andere, ſehr beträchtliche dient dazu, die umgebenden Körper zu erwärmen, und man hat berechnet, daß die Wärme, die ſo verloren geht, beinahe zwanzigmal ſo viel beträgt, als diejenige, welche zur Arbeit verwandt wird. Nehmen wir an, die Arbeit beſtehe darin, ein Gewicht von 120 Pfund auf eine Höhe von 14,000 Fuß zu erheben. Die Arbeit beträgt alſo circa 1,700,000 Fußpfund. Dazu müßten unter dem Dampfkeſſel ungefähr $3^1/_2$ Pfund Kohlen verbrannt werden, neunzehn Zwanzigſtel der entwickelten Wärme würden dabei verloren gehen.

Das Gewicht, welches wir gewählt, iſt das eines gewöhnlichen Mannes, die Höhe die des Montblanc. Wenn ein Reiſender dieſen Berg erſteigt, ſo trägt er die Laſt ſeines Körpers 14,000 Fuß hoch und führt mit ſeinen Muskeln die

der Maschine aufgegebene Arbeit aus. Des Morgens geht er von Chamonix aus, bleibt die Nacht in Grande-Mulets, begiebt sich den andern Morgen wieder auf den Weg und langt gegen Mittag auf dem Gipfel an. Um Sonnenuntergang kann er wieder in Chamonix sein. Die Excursion dauert gegen 28 Stunden; aber er marschirt nur 17 Stunden, und hat folglich in 17 Stunden seine mechanische Arbeit ausgeführt. Nach Hirn verbraucht aber ein rüstiger Mann beim Steigen 132 Gramm, d. i. $^1/_4$ Pfund Sauerstoff in der Stunde, das macht ungefähr $4^1/_2$ Pfund auf 17 Stunden. Die Verbrennung im Körper wiegt die von $1^2/_3$ Pfund Kohlen auf, und diese Quantität ist es, die man mit der von der Maschine verbrauchten vergleichen muß. Man sieht, daß sie kaum die Hälfte der letzteren beträgt.

12. Elektricität, durch Wärme erzeugt.

Hiemit ist die Rolle der Wärme noch nicht abgethan. Sie ist im Stande, Elektricität zu produziren, und zwar hauptsächlich in zwei verschiedenen Formen. Im siebenzehnten Jahrhundert brachten Reisende von der Insel Ceylon kleine grüne Steinchen mit, welche die Form prismatischer Nadeln hatten und durch Erwärmung die Eigenschaft, leichte Körper anzuziehen, erhielten. Die Bewohner der Insel nannten sie: Turnamal (Asche-Zieher) weil sie, über heiße Asche gehalten, dieselbe anzogen. Man hat daraus den Namen: Turmalin gemacht. Wir besitzen jetzt Turmaline aus verschiedenen Weltgegenden; diejenigen, welche aus Brasilien kommen und eine grüne oder blaue Farbe haben, eignen sich am besten zu Experimenten.

Figur 3 zeigt den Versuch, wie er von Hauy gemacht wurde. Man fängt damit an, daß man den Turmalinstein

erwärmt und auf das kleine Geſtell legt, an welchem zwei ſchwebende Metallkugeln ſo aufgehängt ſind, daß es, auf eine Spitze gelegt, in horizontaler Lage verharrt. Nähert man nun den beiden Enden des Steines einen durch Reiben elektriſirten Glasſtab, ſo wird man bemerken, daß das eine von demſelben angezogen, das andere dagegen abgeſtoßen wird. Dieſe Wirkung ſchreibt man der Elektricität zu. Durch Erwärmung wird der Turmalin alſo elektriſch.

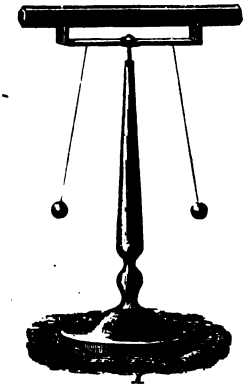


Fig. 3.

Seit 1821 kennt man noch ein anderes Mittel, durch Wärme Elektricität zu erzeugen, und zwar in Form von Strömen. Man benutzt dieſe Eigenſchaft der Wärme ſehr oft, um einige ihrer Geſetze zu ſtudiren, beſonders die Strahlung.

Nehmen wir kleine Stäbchen aus zweierlei Metall, z. B. Kupfer und Eiſen, löthen dieſelben mit ihren ungleichnamigen Enden zuſammen (d. h. immer Kupfer an Eiſen), und verbinden die beiden frei gebliebenen Enden durch einen Metalldraht, ſo haben wir eine ſogenannte thermo-elektriſche Säule, wie ſie in Fig. 4 dargeſtellt iſt.

Fig. 4. Thermoſäule.

Um ſie in Thätigkeit zu ſetzen, dürfen wir nur die eine Reihe der Löthſtellen erwärmen, die andere kalt laſſen; der Draht nimmt

dann einen eigenthümlichen elektriſchen Zuſtand an, den man mit dem Namen Strom bezeichnet. Eine ſeiner Wirkungen beſteht darin, daß er eine Magnetnadel, die man ihm nähert, von ihrer natürlichen Richtung ablenkt. Man kann dieſe Wirkung ſehr verſtärken, wenn man die Magnetnadel leicht beweglich aufhängt und dem Draht eine gewiſſe Richtung giebt. Ein ſo disponirtes Inſtrument heißt Galvanometer. Es genügt, die eine Reihe der Löthſtellen mit dem Finger zu berühren, um eine Ablenkung der Magnetnadel zu erhalten. Figur 5 zeigt die Säule mit dem Galvanometer zu einem Experiment aufgeſtellt.

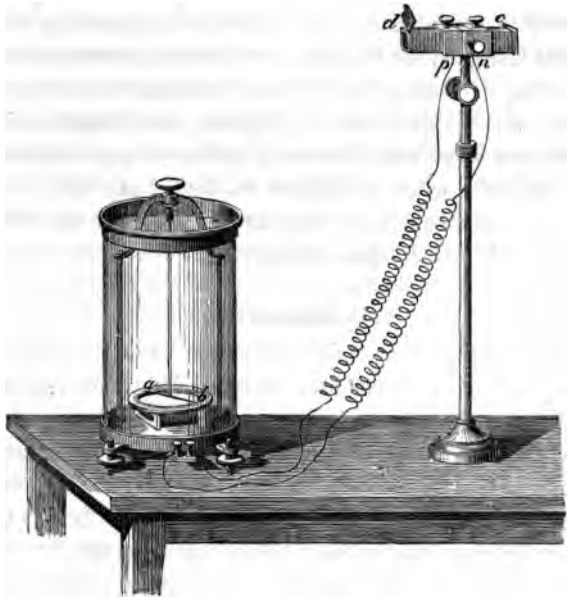


Fig. 5. Galvanometer.

Wir werden auf dieſe Klaſſe von Erſcheinungen, dieman mit Hilfe der Elektricität ſtudirt, nicht näher eingehen. Wir haben dieſelben hier nur erwähnt, um die Wärme nach allen möglichen Seiten zu betrachten.

Wir wollen aber noch eine Conſequenz dieſer Erſcheinungen anführen, die wohl geeignet ſein dürfte, unſere Einbildungskraft anzuregen.

Wenn ſich unſer Erdball, der aus einer Menge verſchiedener, mit einander feſt verbundener Subſtanzen beſteht, täglich ein Mal um ſeine Achſe dreht, ſo kehrt er allmählich alle Stellen ſeiner Oberfläche der Sonne zu; die Strahlen, welche von dieſem Geſtirn ausgehen, erwärmen dieſelben und entwickeln daſelbſt Elektricität. So circulirt jeden Tag elektriſche Erregung um die Erde, und die Folge davon iſt eine gewaltige Strömung, die beſtändige Wirkungen hervorbringen kann, unter andern auch die Richtung der Compaßnadel. Eine neue harmoniſche Verkettung, welche uns zeigt, wie groß die Rolle iſt, welche der Wärme im Weltall zugetheilt, wie alle Bewegung und alles Leben auf der Erde mit den Wirkungen der Sonne zuſammenhängt.

13. Feueranbeter.

Die Sonne iſt die ſichtbare Quelle, aus der Freude, Fruchtbarkeit und Leben über die ganze Natur ſich ergießt. Darf man ſich deshalb wundern, wenn der Menſch, die ſchöpferiſche Kraft dieſes Himmelskörpers anſtaunend, denſelben ſo oft zum Gegenſtande ſeiner Anbetung macht? Bei einer großen Zahl von Völkern war das der erſte Verſuch zu einer Religion, und in Mitte des Aberglaubens und der abſurdeſten Fabeln, Ausgeburten der Unwiſſenheit, treffen wir immer die Anbetung der Sonne und des Feuers als ihres

Ebenbildes. Die alten Perſer hatten mehrere auf dieſen Cultus gegründete Gebräuche, aber hauptſächlich in Amerika fand man noch zur Zeit der Eroberung Völker, welche die Sonne anbeteten. In Mexiko waren die Ceremonien dieſes Gottesdienſtes roh und blutheiſchend. Aber in Peru war das Syſtem, auf welches die Inkas ihre Autorität gegründet hatten, ganz anderer Art. Manko-Capak, der Geſetzgeber Peru's, bildete dem Volke ein, er und ſeine Frau wären Kinder der Sonne, herabgeſtiegen von dieſem Stern, um ſie in deſſen Namen zu unterrichten. Man glaubte ihm und er wurde der erſte Inka. Seine Nachkommen führten den Namen Kinder der Sonne, und hatten allein das Recht, den Thron zu beſteigen. Hier war der Cultus eine Art Naturreligion. Die Ceremonien waren ſanft und menſchlich. Man brachte der Sonne Alles dar, was die Wärme auf Erden hervorbringt, Thiere, welche zur Nahrung dienten, auch verſchiedene kunſtvoll gearbeitete Gegenſtände. Die Geſetze trugen den Charakter der Milde, und in der Civiliſation waren die Peruaner allen andern amerikaniſchen Völkern vorausgeſchritten. Die Erdarbeiten wurden ſo ſehr in Ehren gehalten, daß die Kinder der Sonne ſelbſt ein Feld mit ihren eigenen Händen beſtellten, und ſie nannten dieſe Handlung ihren Triumph über die Erde.

Zweites Kapitel.

Die Experimental-Methode. Das Thermometer.

1. Zweck der Physik.

Zwei Wege giebt es, zur Kenntniß der Wärme zu gelangen; der eine ist der des Philosophen, der andere derjenige des Physikers. Der Philosoph wird z. B. die Natur der Wärme suchen, indem er sich auf metaphysische Betrachtungen stützt, auf gewisse allgemeine Ideen über die Beschaffenheit des Weltgebäudes; er wird eine Folge von rationellen Grundsätzen aufstellen, und die Erscheinungen nach diesen Grundsätzen vorausſehen, von der Ursache zur Wirkung gehend. Der Physiker, im Gegentheil, wird seine Aufmerksamkeit zuerst auf die exacte Beobachtung der Erscheinungen richten; er wird messen, zählen, wiegen, was er unter den Augen hat, um die Zahlenverhältnisse der Dinge genau zu kennen; er stellt sich Experimente zusammen, in welchen die zu messenden Quantitäten deutlich von einander separirt sind, er erfindet Instrumente, mit denen er genaue Messungen anstellt, und wenn er das Resultat dieser Untersuchungen in eine mathematische Formel gebracht hat, so hat er das Gesetz der Erscheinung, die Naturordnung gefunden. Ist man auf diesem Wege zu einer gewissen Anzahl von Gesetzen für Erscheinungen,

die offenbar einer gemeinschaftlichen Ursache entspringen, gelangt, so kann man wiederum von den Wirkungen zu dieser Ursache zurückzugehn versuchen; damit verläßt man aber den Boden der positiven Wissenschaft, und die Begriffe, zu denen man sich erhebt, tragen nicht den Charakter der Gewißheit. Wir nennen sie Hypothesen; sie sind zur Erkenntniß der Natur nicht unumgänglich nöthig.

Die Experimental-Methode ist neuern Ursprungs; man darf Galilei als ihren Gründer betrachten. Die Alten hielten sich an die Metaphysik, wie sie hauptsächlich von Aristoteles ausgebildet war; bis ins Mittelalter behauptete seine Logik das Feld. Sogar Carteſius (in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts) ließ sich noch durch die Ueberlieferung beeinflussen. „Ehe man das Gesetz der Schwere sucht," sagte er, „muß man wissen, was die Schwere ist." Hierin hatte er Unrecht.

Galilei stellte Regeln für die natürliche Methode auf und ersann Instrumente, um sie zur Anwendung zu bringen. „Das Wesen der Dinge", sagte er, „können wir nicht begreifen. Das Absolute entgeht uns, nur das Relative ist uns zugänglich. Die Ursachen sind für uns nicht wichtig, es kommt nur darauf an, den nothwendigen Zusammenhang der Erscheinungen aufzufinden." Er entdeckte selber die Axendrehung der Erde, das Gesetz der Pendelschwingungen, die Gesetze des freien Falls; er schuf die Mechanik, die eigentliche physikalische Wissenschaft. Er besaß das Geheimniß, im Buche der Natur zu lesen, einem Buche, das, wie er sich ausdrückt, „in der Sprache der Mathematik geschrieben ist". Außerdem aber wußte er sich der Menge verständlich zu machen, und legte großes Gewicht darauf.

„Ich habe bemerkt," schreibt er an einen seiner Freunde,

„daß die jungen Leute, welche unſere Univerſität behufs Vor-
„bereitung zu liberalen Fächern beſuchen, oft wenig Geſchmack
„und Geſchicklichkeit für die Naturphiloſophie zeigen; Andere
„dagegen, deren Verſtand in dieſer Hinſicht begabter iſt, wid-
„men ſich erwerbſamen oder häuslichen Beſchäftigungen, ohne
„ans Philoſophiren zu denken, weil ſie ſich einbilden, die
„Philoſophie ſei in großen Büchern auf os und us geſchrieben,
„die für ſie unlesbar ſeien. Ich aber will, ſie ſollen wiſſen,
„daß ebenſo gut, wie die Natur ihnen gleich den Leuten, die
„Griechiſch und Lateiniſch ſprechen, Augen gegeben hat, ihre
„Werke zu ſehen, ſie ihnen auch gleichermaßen den Verſtand
„gegeben hat, um dieſelben zu erkennen und zu begreifen."

Seien wir Galilei's Schüler: beobachten, zergliedern wir und unterſcheiden wol dies Geſetz der Erſcheinung von der Hypotheſe, welche uns die Urſache derſelben kennen lehren will. Für uns heißt: eine Erſcheinung *erklären*, ſie beſchreiben, den Zuſammenhang zeigen, der zwiſchen ihren einzelnen Theilen oder zwiſchen ihr und andern ſchon bekannten Erſcheinungen exiſtirt. Wir werden die Wärme genugſam kennen, ſobald wir gewöhnt einen natürlichen Zuſammenhang zwiſchen ihren verſchiedenen Wirkungen aufzufinden, die eine von ihnen vorauszuſehen im Stande ſind, wenn dieſer oder jener Umſtand eintritt. Was die eigentliche Natur der Wärme anbetrifft, ſo müſſen wir uns auf Vermuthungen beſchränken.

2. Hypotheſen über das Weſen der Wärme.

Bis zu Anfang dieſes Jahrhunderts herrſchte faſt allgemein die Anſicht von der Körperlichkeit des Wärmeſtoffs. Der „Wärmeſtoff" war ein unwägbares Fluidum, verſchieden von der Materie, welche die kleinſten Theile der Körper bildet; er erfüllte die Zwiſchenräume derſelben und ging mit Leichtigkeit

aus einem Körper in den andern über. Erwärmte ſich ein Körper, ſo erhielt er von Außen eine gewiſſe Menge Wärmeſtoff; kühlte er ſich ab, ſo verlor er einen Theil ſeines Wärmeſtoffs. In dem Act der Verbrennung combinirten ſich verſchiedene Subſtanzen mit Ausſtoßung von Wärme, weil die Atome in ihrer neuen Gruppirung einen Körper bildeten, in welchem für die urſprüngliche Quantität von Wärmeſtoff nicht mehr Platz war. Die in der Gewichtseinheit eines Körpers vorhandene Wärmemenge hieß die *ſpecifiſche Wärme* dieſes Körpers, und man ſagte z. B.: wenn die Kohle ſich mit Sauerſtoff verbindet, ſo befreit ſie Wärme, weil die ſpecifiſche Wärme der Kohlenſäure kleiner iſt, als die Summe der ſpecifiſchen Wärmen der Kohlen und des Sauerſtoffs.

Heutzutage iſt dieſe Hypotheſe verworfen, weil man eine große Anzahl von Thatſachen entdeckt hat, die mit ihr unvereinbar ſind; aber weil ſie lange Zeit hindurch in der Wiſſenſchaft geherrſcht, findet man noch viele Ausdrücke, die an ſie erinnern, doch darf man ihnen nicht den Sinn unterlegen, den ſie bei ihrem früheren Gebrauch hatten.

Eine zweite Hypotheſe beſteht darin, die Wärme als eine Bewegung der Moleküle eines Körpers zu betrachten, die während der Erwärmung beſchleunigt, während der Abkühlung gemäßigt wird; welche aus einem Körper in den andern übertragen werden kann, ebenſo wie die Bewegung, an einem Punkt einer Waſſermaſſe hervorgerufen, ſich ſtufenweiſe der ganzen Flüſſigkeit mittheilt, durch eine Art von Strahlung nach allen Seiten. Die Moleküle der Körper ſind vertheilt in einem ſehr elaſtiſchen Fluidum, Aether genannt, das den Weltraum erfüllt; und durch Vermittlung dieſes Fluidums findet die Strahlung des Lichtes und der Wärme ſtatt. Wenn

man zwei Körper neben einander ſtellt, ſo ſuchen die Bewegungen ihrer Moleküle ſich auszugleichen und die Wirkungen der Wärme beruhen demnach auf der gegenſeitigen Mittheilung dieſer Bewegungen. Die Reibung entwickelt Wärme, ſagt man nach dieſer Theorie, weil durch die reibenden Maſſen den Theilchen der Körper Bewegung mitgetheilt wird. Dieſe Bewegung entgeht unſern Blicken, ebenſo wie die Moleküle ſelbſt ihrer großen Feinheit wegen; aber unſere Sinne empfangen Eindrücke durch die verſchiedenen Wirkungen dieſer Bewegung, die wir eben Wärme nennen.

Das Verſchwinden der Wärme wäre einfach die Verminderung der Molekularbewegung, welche ſich jetzt nicht auf die Atome der umgebenden Körper überträgt, ſondern auf die ſichtbaren Maſſen dieſer Körper, die ſich immer in Bewegung ſetzen, wenn die Wärme verſchwindet. Es wäre alſo eine Verwandlung der molekularen Bewegung in Maſſenbewegung, Umwandlung der Wärme in mechaniſche Arbeit, ebenſo wie umgekehrt bei der Reibung und andern Gelegenheiten eine Verwandlung der Maſſenbewegung in molekulare, eine Umwandlung mechaniſcher Arbeit in Wärme ſtattfindet.

Dieſe Hypotheſe, welche man die dynamiſche nennt, war von einer großen Anzahl Philoſophen des ſiebenzehnten Jahrhunderts adoptirt. Man findet Andeutungen davon bei Descartes, Bacon, u. A. m. Es genügt aber nicht, daß man von der Wärme als einer Bewegung ſpricht. Man muß auch ſagen, welche Bewegung man ſich dabei vorſtellt und welchen Geſetzen ſie folgt. Dieſe Aufgabe haben die modernen Phyſiker zu löſen geſucht.

Um eine Theorie annehmbar zu machen, iſt es unumgänglich nöthig, daß alle daraus gezogenen Schlußfolgerungen mit dem Experimente übereinſtimmend ſeien; ſteht eine einzige

mit den Thatsachen in Widerspruch, so muß die ganze Theorie umgearbeitet, das mühsam aufgeführte Gebäude zerstört und, nachdem der Ausgangspunkt berichtigt, von Neuem mit der Verkettung von Schlüssen begonnen werden, um sie einer neuen Probe zu unterwerfen. Arbeiten dieser Kategorie tragen aber auch direct dazu bei, das Feld der Entdeckungen zu erweitern. In der That hat schon oft ein mathematischer Schluß aus einer Hypothese dazu geführt, eine bis dahin noch unbekannte Erscheinung zu vermuthen. Der Physiker macht sich ans Werk, er beobachtet, mißt und wägt, und wenn die Erscheinung sich so zeigt, wie sie vorhergesehen wurde, so ist sie bestätigt. Trotzdem ist eine auf diese Art hergestellte Theorie immer unbeständig, wie Alles, was die Phantasie erzeugt. Kommt einmal ein widersprechendes Experiment, so ist sie umgeworfen. Nur das Gesetz der Erscheinung, nach exacten Beobachtungen festgestellt, kann unwandelbar bleiben. Es ist ein der Natur abgerungenes Geheimniß, eine Eroberung unseres Geistes, mit Hilfe unserer Sinne ausgeführt.

Nach diesen Betrachtungen wissen wir, welchen Weg wir einzuschlagen haben: die hauptsächlichen Wirkungen der Wärme beobachten, sie zusammenstellen, vergleichen und ihre Gesetze aufsuchen, ohne uns mit der Kraft, die sie hervorbringt, zu beschäftigen, das sei unsere Aufgabe.

3. Erfindung des Thermometers.

Vor allen Dingen brauchen wir ein Instrument, um die Wirkungen der Wärme damit zu messen. Dasjenige, welches die Physiker adoptirt haben, ist das Thermometer; seine Formen sind sehr verschieden; es hat die Eigenschaft, durch Volumveränderung des Körpers, aus dem es besteht, anzugeben, ob *in dem Raum*, in welchem es sich befindet,

eine Erwärmung oder Abkühlung ſtattfindet. Das erſte Thermometer verfertigte, wie es ſcheint, Galilei um 1597; es beruhte auf der Ausdehnung der Luft. In einer offenen Glasröhre (Fig. 6A), an deren unterem Ende eine Kugel angeblaſen war, befand ſich eine kurze Flüſſigkeitsſäule A, durch welche die innere Luft von der äußeren abgeſperrt war. Bringt man ein ſolches Inſtrument an einen warmen Ort, ſo ſieht man die Flüſſigkeit A ſteigen, und zwar, weil die Luft in der Kugel ſich erwärmt, ausdehnt, und den Zeiger A vor ſich hertreibt. In der Kälte zieht ſich die Luft wieder zuſammen, und die Flüſſigkeit ſinkt.

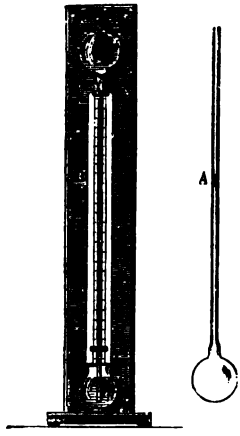


Fig. 6. Thermometer.

Gar viele Gelehrte haben ſich um dieſe Zeit mit der Einrichtung des Thermometers abgegeben. Das Inſtrument, welches in Fig. 6, B dargeſtellt iſt, ſchreibt man gewöhnlich dem holländiſchen Bauern Cornelius Drebbel zu*). Auch hier iſt Luft in einer Glaskugel eingeſchloſſen; die Röhre an der Kugel ſteht ſenkrecht, ſie taucht mit ihrem offenen Ende in ein Gefäß, welches eine Flüſſigkeit enthält. Vor dem Gebrauch erwärmt man die Kugel, wodurch die überflüſſige Luft in Geſtalt von Blaſen ausgetrieben wird; während das

*) Nach Emil Wohlwill (Pogg. Ann. 1865, Nr. 1, Seite 163) iſt freilich die Geſchichte von dem Thermometer des „erfindungsreichen Bauern von Alkmaar" eine Fabel.

Inſtrument ſich abkühlt, und die innere Luft ſich wieder zuſammenzieht, ſteigt die Flüſſigkeit in die Glasröhre, und ihr Niveau dient, wie bei Galilei's Thermometer, als Index.

In der Akademie zu Florenz wurde das erſte Weingeiſt-Thermometer conſtruirt. Das Behältniß hat die nämliche Form wie das vorige; es iſt ebenfalls eine Glaskugel oder Cylinder am Ende einer engen Glasröhre befindlich; aber es enthält Alkohol ſtatt der Luft. Um dieſe Flüſſigkeit einzuführen, wendet man folgendes Verfahren an: man hält die Kugel über Feuer und das offene Ende der Röhre in Alkohol; die eingeſchloſſene Luft dehnt ſich aus und kleine Luftbläschen nehmen ihren Weg durch die Flüſſigkeit, während die Kugel ſich erwärmt; nun entfernt man das Feuer, alsbald kühlt die zurückgebliebene Luft ſich ab, zieht ſich zuſammen und der Weingeiſt ſteigt in die Kugel, die er zum größten Theile ausfüllt. Um die Luft ganz herauszutreiben, hält man die Kugel nochmals über Feuer, bis der Alkohol zu ſieden beginnt. Sein Dampf verbindet ſich mit der Luft und fährt in einem Strahl heraus. In dieſem Augenblick taucht man eiligſt das offene Ende der Röhre in den Alkohol und entfernt das Feuer. Durch die Abkühlung verdichtet ſich der in der Kugel enthaltene Alkoholdampf und nimmt ein ſo kleines Volumen ein, daß der Druck der Atmoſphäre den Alkohol aus dem Gefäß ſchnell in die Kugel treibt, die jetzt vollſtändig ausgefüllt wird. Es bleibt aber doch eine kleine Luftblaſe, die man entfernen muß. Ehe man das Gefäß mit Alkohol fortnimmt, wartet man, bis das Inſtrument ganz abgekühlt iſt. Darauf befeſtigt man an die Glasröhre eine Schnur und dreht ſie ſehr ſchnell herum, die Kugel nach außen, wie eine Schleuder. Bei dieſer Kreisbewegung entfernen ſich die ſchwerſten Theile vom Mittelpunkt; der in der Glasröhre befindliche Alkohol geht

in die Kugel und verdrängt die Luftblase, welche zuletzt ganz aus der Flüssigkeit heraustritt. Nach dieser Behandlung haben wir das Instrument wie Fig. 7 es darstellt. Um die Quantität Alkohol zu bestimmen, die in dem Instrument bleiben soll, erwärmt man die Kugel ein Wenig, der Alkohol dehnt sich aus und einige Tropfen fallen durch die Oeffnung heraus; man läßt sie abkühlen; der Alkohol zieht sich zusammen und sein Stand zeigt sich der Kugel jetzt näher als vorher. Man wiederholt dieses Manöver so lange bis das Niveau des Alkohols ungefähr den dritten Theil der Röhre, von der Kugel aus gerechnet, einnimmt. Schließlich leitet man den Strahl einer Flamme vermittelst eines Löthrohres auf das offene Ende; das Glas wird weich und die Ränder schmelzen zusammen, die Oeffnung schließend. Ueber dem Niveau ist noch Luft in der Röhre geblieben, welche nun außer Verbindung mit der Atmosphäre steht. Wenn man die Kugel erwärmt, dehnt der Alkohol sich aus und comprimirt diese Luft, wodurch ihre Spannkraft vergrößert wird; aus diesem Grunde verdampft der Alkohol nicht, und man kann ihn bedeutend erwärmen, ohne daß er siedet. Wir werden später, im achten Kapitel, die Erklärung dieser Erscheinung geben.

Fig. 7. Weingeist-Thermometer.

Gewöhnlich färbt man den Alkohol roth, um leichter die Bewegungen seines Niveaus verfolgen zu können.

Das Alkohol-Thermometer hat einen großen Vorzug vor denen von Galilei und Drebbel. Da es verschlossen ist, hat die Atmosphäre keinen Einfluß auf das Volumen des Alkohols; in den beiden andern, die offen sind, drückt die Atmosphäre auf den Index und verändert seinen Platz, je nachdem

der Druck ſchwächer oder ſtärker iſt, wenn auch weder Erwärmung noch Abkühlung ſtattfindet. Die Ortsveränderung des Index wird hier alſo durch die Wärme und durch den atmoſphäriſchen Druck beſtimmt, und dieſe Wirkungen ſind ſchwer von einander zu unterſcheiden.

Gegen das Jahr 1680 fing man an, den Alkohol durch Queckſilber zu erſetzen, und fand darin einen großen Vorzug. Queckſilber erwärmt und kühlt ſich ſchneller ab als Alkohol; da es durchſichtig iſt, kann man es deutlich in der Röhre ſehen, ſelbſt wenn dieſe, um das Inſtrument empfindlicher zu machen, einen außerordentlich kleinen Durchmeſſer hat. Außerdem iſt es auch leichter, ganz reines Queckſilber zu haben, und endlich kann man Queckſilber weit ſtärker erhitzen, ohne es in Dampf zu verwandeln.

Die Conſtruction des Queckſilber-Thermometers iſt nach derſelben Methode wie die des Alkohol-Thermometers auszuführen. Nur hat man keine Luftblaſe durch Umſchwingen zu entfernen, und in der Röhre darf keine Luft bleiben. Wenn man die nöthige Quantität Queckſilber in das Inſtrument eingeführt hat, ohngefähr ſo viel, daß das Niveau den dritten Theil der Röhre bezeichnet, ſo erwärmt man die Kugel bis das Niveau die Oeffnung erreicht, und ſchließt dieſe ſofort vermittelſt eines Löthrohres. Es iſt nun alſo keine Luft in der Röhre, und wenn durch Abkühlung das Niveau ſich wieder der Kugel genähert hat, ſo bleibt der obere Raum vollſtändig leer.

Ein auf dieſe Weiſe hergeſtelltes Thermometer kann nun ſchon durch die Bewegungen ſeines Niveaus anzeigen, ob eine Erwärmung oder Erkaltung ſtattfindet; meſſen kann es aber die Wirkungen der Wärme erſt, wenn es eine Skala beſitzt, d. h. wenn das Rohr in Grade eingetheilt iſt.

4. Graduation und Gebrauch des Thermometers. — Pyrometer.

Erſt um 1709 führte der deutſche Mechaniker Fahrenheit den Gebrauch der fixen Punkte der Thermometerſkala ein. Bis dahin beobachtete man ohne beſtimmte Regel, und die Angaben verſchiedener Inſtrumente waren nicht unter einander vergleichbar.

Längs der Röhre des Thermometers wird eine Skala, d. h. ein in gleiche Grade getheilter Maßſtab angebracht. Auf dieſer Skala markirt man den Gefrierpunkt, wenn ſich das Inſtrument in ſchmelzendem Eiſe befindet; den Siedepunkt, wenn es in ſiedendem Waſſerdampf ſteht.

Fig. 8. Beſtimmung des Siedepunkts.

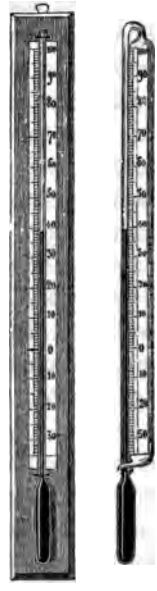


Fig. 9 Gewöhnliche Thermometer.

Dies ſind die Fundamentalpunkte, auf die ſich heutzutage die Angaben der Thermometer beziehen.

Den Siedepunkt zu beſtimmen, dient ein Apparat, wie er Fig. 8 dargeſtellt iſt. Man bezeichnet den fraglichen Punkt, ſobald das Niveau des Queckſilbers ſtationär geworden iſt. Die Röhre wird dann gewöhnlich auf einem Brettchen befeſtigt, man zieht auf demſelben zwei Striche gegenüber dem Nullpunkt und dem Siedepunkt, und theilt ihren Abſtand in eine gewiſſe Anzahl gleicher Theile; auch kann man die Theilung unterhalb des Nullpunktes und oberhalb des Siedepunktes fortſetzen.

Eine der gebräuchlichſten Skalen iſt die hunderttheilige, zuerſt von Linné vorgeſchlagen, aber gewöhnlich einem anderen Schweden, dem Phyſiker Celſius, zugeſchrieben; der Eispunkt wird hier mit Null, der Siedepunkt mit 100 bezeichnet. Die Thermometer mit hunderttheiliger Skala nennt man Centeſimalthermometer. Nach Réaumur wird der Gefrierpunkt gleich Null, der Siedepunkt gleich 80 geſetzt; die Réaumur'ſchen Grade ſind etwas größer, als die Centeſimalgrade, und 20° R. entſprechen z. B. 25° C., weil immer 5 Grade Celſius auf 4 Grade Réaumur kommen. Dieſe Skala iſt in Deutſchland noch ſehr gebräuchlich. In England herrſcht eine dritte Skala, die Fahrenheit's Namen trägt; der Nullpunkt entſpricht hier einer Kältemiſchung, der Gefrierpunkt iſt mit 32, und der Siedepunkt mit 212 bezeichnet, ſo daß alſo 180 Grade Fahrenheit auf 80 Grade R. oder 100 Grade C. kommen*).

*) Dieſe Vielfältigkeit der Thermometerſkalen iſt für den Fortſchritt der Wiſſenſchaft höchſt nachtheilig, da ſie die Vergleichung der Beobachtungen ſehr erſchwert und zahlloſe Irrthümer veranlaßt. Es wäre zu wünſchen, daß die hunderttheilige Skala allgemein angenommen würde; wir benutzen dieſelbe durchgängig in dieſem Buche.

Von Null aufwärts und abwärts ſchreibt man dieſelben Zahlen; unter Null werden dieſelben durch einen vorgeſetzten Strich bezeichnet; alſo — 15° bedeutet: 15 Grad unter Null, oder, wie man auch wohl ſagt, 15 Grad Kälte.

Man gebraucht das Wort Temperatur, um das Verhalten der Körper in Bezug auf die Wärme anzugeben. Wenn man einen Körper mit dem Thermometer in Berührung bringt, ſo ſteigt oder fällt das Queckſilber, je nachdem der Körper wärmer oder kälter als das Thermometer iſt, und das Niveau bleibt an einer der Theilungen ſtehen. Die correſpondirende Zahl giebt die Temperatur des Körpers an. Das Thermometer dient alſo dazu, den Wärmezuſtand der Körper zu erforſchen; bleibt das Queckſilber unbeweglich, ſo iſt die Temperatur beſtändig; ſteigt oder fällt es, ſo zählt man die durchlaufenen Grade, und ſchließt daraus auf die Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur.

Ein Queckſilber-Thermometer kann eine Skala von 40 Gr. unter Null bis 360 Gr. über Null haben; nur zwiſchen dieſen beiden Temperaturen bleibt das Queckſilber flüſſig. In einer niedrigeren wird es feſt, in einer höheren verdampft es, und kann unter dieſen Umſtänden ſeinem Zweck nicht mehr entſprechen.

Bei ſtarkem Froſt wendet man das Weingeiſt-Thermometer an, weil dieſe Flüſſigkeit nicht gefriert. Die ſehr hohen Temperaturen mißt man mit dem Pyrometer, welches auf der Ausdehnung feſter Körper beruht.

In der Porzellanfabrik zu Sèvres hat Brongniart von dem folgenden Pyrometer Gebrauch gemacht, um die ſehr hohe Temperatur der Oefen zu meſſen. (Fig. 10.) Eine Porzellanplatte, die ſich im Ofen befindet, trägt in einer Fuge eine Eiſenſtange, deren eines Ende ſich gegen den Hintergrund

der Fuge ſtemmt, während das vordere Ende eine durch die Ofenwand gehende Porzellanſtange berührt; dieſe letztere

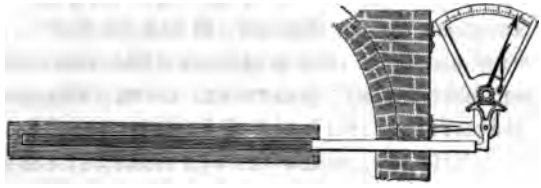


Fig. 10. Pyrometer.

wird durch einen Hebel gegen die Eiſenſtange gepreßt. Wenn man heizt, ſo wird das Eiſen erwärmt und dehnt ſich aus, das Porzellan ebenfalls, aber nur ſo wenig, daß es das Eiſen allein iſt, welches den Hebel in Bewegung ſetzt. Dieſer theilt die Bewegung durch ein Zahnrad einem Zeiger mit, welcher die Theilungen eines Zifferblattes durchläuft. So werden die Längenveränderungen der Eiſenſtange deutlich ſichtbar. Die auf das Zifferblatt gravirte Eintheilung zeigt 100° und Null, wenn man die Eiſenſtange in kochendes Waſſer oder ſchmelzendes Eis hält. Die Zahlen können bis zu 1500 Graden gehen, weil das Eiſen erſt bei dieſer hohen Temperatur ſchmilzt. Mit einem Queckſilber-Thermometer läßt ſich ein ſolches Thermometer aber nicht vergleichen, d. h., zwei unter gleichen Umſtänden angewendete Inſtrumente zeigen faſt immer verſchiedene Zahlen an.

Die Phyſiker bedienen ſich, um ihre Experimente genauer zu machen, der Lufttthermometer, welche einige Aehnlichkeit mit dem von Galilei haben.

5. Wie man die Wärme mißt.

Eine erſte Anwendung des Thermometers iſt die Beſtimmung einer Wärme-Einheit.

Man könnte, wie wir im ersten Kapitel gesehen haben, die Wärmequantität, die ein Körper ausgiebt, nach dem Gewicht des Eises messen, das sie zu schmelzen fähig ist. Um zwei Kilogramm Eis zu schmelzen, ist noch ein Mal so viel Wärme nöthig als um eines zu schmelzen. Aber diese Einheit hat man nicht gewählt, sondern eine andere, bequemere: die Wärmeeinheit ist die Wärmemenge, durch welche 1 Kilogramm Wasser von Null auf 1 Grad C. erwärmt wird*). Um ein Kilogramm Eis zu schmelzen, braucht man 79 Wärmeeinheiten, d. h. die Wärmemenge, durch welche die Temperatur von 79 Kilo Wasser von Null auf 1° C. gebracht werden kann.

Man darf die Wärmeeinheit nicht mit dem Thermometergrad verwechseln; dieser letztere bezeichnet nicht eine Quantität, sondern einen Zustand. Um gleichen Gewichtsmengen verschiedener Substanzen dieselbe Temperatur mitzutheilen, braucht man ganz verschiedene Quantitäten von Wärme. Folgendes sind die Quantitäten, welche das Wasser unter verschiedenen Umständen verbraucht. Es sind erforderlich:

Um 1 Kilogr. Eis zu schmelzen . .	79 Einheiten,
Um 1 Kilo Wasser von 0 auf 100° zu erwärmen	101 "
Um 1 Kilo Wasser von 100° in Dampf zu verwandeln	536 "
Im Ganzen	716 Einheiten.

*) Ein Kilogramm (1000 Gramm) wiegt 2 Pfund; 17 Gramm wiegen 1 Loth. Wir behalten diese Einheiten bei, die sich in der Wissenschaft längst eingebürgert haben, und hoffentlich bald allgemein angenommen sein werden. Ebenso schreiben wir 1 Meter anstatt 3 Fuß, und 1 Kilogrammeter anstatt 6 Fußpfund.

Mit der Wärme, welche dazu gehört, ein Kilo Eis in Dampf zu verwandeln, könnte man also 716 Kilo Wasser von Null auf 1° C. erwärmen. Man muß aber nicht glauben, daß dies die Gesammtwärme ist, welche ein Kilo Wasserdampf bei der Siedhitze enthält. Kühlt man den Dampf bis auf Null herab, so wird er zu Wasser, endlich zu Eis, und befreit 716 Wärmeeinheiten; aber das Eis kann nun noch weiter gekühlt werden. Bringt man dasselbe bis auf 100 Grad unter Null, so giebt es noch 50 Wärmeeinheiten ab, und man kann die Abkühlung noch weiter treiben. Es ist überhaupt unmöglich, die Gesammtwärme, welche ein Körper enthält, anzugeben; wir können nur bestimmen, wie viel Wärme man ihm mittheilen oder entziehen muß, damit gewisse Veränderungen in seinem Zustande eintreten, und diese Veränderungen schätzen wir mit Hilfe des Thermometers.

Wir sahen oben, daß eine Dampfmaschine, die 1 Kilogramm auf die Höhe von 400 Meter hebt, eine Wärmemenge verbraucht, die im Stande wäre, 12 Gramm Eis zu schmelzen. Um 1 Kilo zu schmelzen, braucht man aber 79 Einheiten, also $\frac{79}{1000}$ für jedes Gramm, und beinahe 1 Einheit für 12 Gramm; die Maschine verbraucht also fast eine Wärmeeinheit, wenn sie 1 Kilo auf 400 Meter hebt. Genauer berechnet, gehört eine Wärmeeinheit dazu, um 1 Kilo auf 425 Meter zu heben; man sagt deshalb: eine Wärmeeinheit gilt so viel als 425 Kilogrammeter, und nennt diese Zahl das mechanische Aequivalent der Wärme.

Drittes Kapitel.

Wärmequellen.

1. Sonnenwärme. — Erdwärme.

Ein Körper iſt eine Wärmequelle, wenn Wärme von ihm ausgeht und der Verluſt in jedem Augenblick durch neue Production erſetzt wird.

Die Sonne iſt die ſchönſte und ergiebigſte von allen Wärmequellen, deren Gebrauch uns verſtattet iſt. Pouillet hat ein Inſtrument erfunden, mit deſſen Hilfe er die von dieſem Geſtirne ausgeſtrahlte Wärme gemeſſen hat.

Das Pyrheliometer von Pouillet (Fig. 11) iſt ein Thermometer, deſſen Behälter in einer ſehr dünnen ſilbernen Kapſel verſchloſſen iſt. Die Röhre des Thermometers tritt an einer Seite der Kapſel heraus und wird von einer Kupferröhre umſchloſſen. Dieſe hat jedoch eine Spalte, ſo daß man die Graduirung des Thermometers ſehen kann. Die Vorderſeite der Kapſel iſt berußt und muß ſenkrecht zur Richtung der Röhre ſtehen. Man ſtellt das Inſtrument in die Sonne, wenn ſie nicht von Wolken verdunkelt iſt, und wendet die geſchwärzte Seite der Kapſel ſo, daß dieſelbe die Sonnenſtrahlen ſenkrecht empfängt. Man beobachtet das Steigen der Temperatur während fünf Minuten und hat dann eine

beſtimmte Zahl von Graden. Hat man nun vorher durch Verſuche gefunden, wieviel Einheiten nöthig ſind, um das Thermometer um einen Grad ſteigen zu machen, ſo giebt eine einfache Multiplikation die Zahl der in fünf Minuten gewonnenen Einheiten. Um die wirklich auf die geſchwärzte Seite gefallene Wärme zu haben, muß man zu der vorigen Zahl noch die Wärme hinzufügen, die das Inſtrument durch die Wirkung ſeiner eignen Strahlung gegen den Himmel verloren hat, denn die Himmelsräume üben einen erkältenden Einfluß auf die Körper der Erde aus. Man findet dieſes Deficit, wenn man eine der vorigen ähnliche Beobachtung im Schatten über die Abkühlung macht: Aber man hat auch dann noch nicht alle Wärme, die die Sonne ausgeſtrahlt; ein Theil derſelben iſt von der Atmoſphäre aufgefangen worden. Pouillet hat dieſes Verhältniß durch eine große Anzahl von Experimenten beſtimmt und er hat berechnen können, welche Quantität Wärme in einem Jahre auf der Erde anlangt. Sie iſt ſo enorm, daß man, um eine Idee davon zu geben, auf die gewöhnlichen Einheiten verzichten muß. Sie wäre im Stande, eine Eislage von 30 Meter Dicke zu ſchmelzen, wenn dieſe unſere Erde umgäbe. Nur die Hälfte dieſer ungeheuren Wärmequantität langt auf der Erde an, die andere wird von der Atmoſphäre aufgefangen.

Fig. 11. Pyrheliometer.

Wollen wir nun die Gesammtmenge der Wärme kennen lernen, die von der Sonne, nicht nur gegen unsern Planeten, sondern nach allen Richtungen ausgestrahlt wird, so müssen wir uns eine Hohlkugel denken, deren Mittelpunkt in der Sonne ist und deren Oberfläche durch die Erde geht. Die Astronomie lehrt uns, daß man 2300 Millionen Weltkugeln von der Größe unserer Erde neben einander stellen müßte, um diese Kugel vollständig zu bedecken. Demnach beträgt die Gesammtwärme, welche die Sonne ausstrahlt, 2300 Millionen Mal so viel, als die welche auf der Erde anlangt, und die wir gemessen haben.

Wie kann man sich so etwas Großartiges vorstellen? Machen wir noch einen Versuch. Die Sonne ist eine gewaltige Kugel, 1,400,000 Mal so groß, als die Erde. Denken wir uns nun auf der Oberfläche dieses Gestirnes eine Eislage von 800 Meilen Dicke, so ist dies die Eismenge, welche alle Wärme, die die Sonne ausstrahlt, in einem Jahre schmelzen könnte.

Die Sonne ist eine beständige Wärmequelle. Es giebt auch noch andere Gestirne, welche weit von uns entfernte Sonnen sind, aber so weit entfernt, daß ihre Wärme auf uns keine merkliche Wirkung ausüben kann. Noch eine andere beständige Wärmequelle haben wir, und das ist unser Erdball selbst.

Wenn man ein Thermometer in den Schacht eines Bergwerkes bringt, so findet man, daß die Temperatur jedesmal nach 30 Metern um einen Grad steigt, weshalb auch das Wasser aus tiefen Quellen stets warm ist. In einer Tiefe von 3 Kilometern müßte das Wasser, wenn das obige Gesetz hier noch genau gälte, in Dampf übergehn, vorausgesetzt, daß es nicht stark zusammengedrückt würde. Da es aber

einem bedeutenden Druck unterworfen ist, so kann es in flüssigem Zustand bleiben, auch wenn seine Temperatur mehr als 100° beträgt: wir werden auf diese Erscheinung zurückkommen. Was den Zustand unserer Erdkugel in größeren Tiefen betrifft, so ist man auf einfache Muthmaßungen beschränkt, weil es unmöglich ist, hier Beobachtungen anzustellen*). Es ist wahrscheinlich, daß der Kern der Erde aus einer flüssigen, außerordentlich heißen Materie besteht, derselben, welche aus den Mündungen der Vulkane als weißglühende Lava herausfließt.

2. Wärme durch chemische Wirkungen hervorgebracht. — Der Verbrennungsprozeß.

Die Wärmequellen, deren wir uns am häufigsten bedienen, werden künstliche genannt: wir können sie nach Willkühr und Bedürfniß wirken lassen. Gewöhnlich beruhen sie auf einer Verbrennung, d. h. auf der Wärme- und Lichtentwickelung, welche die chemische Verbindung gewisser Substanzen begleitet. In den meisten Fällen ist die eine Substanz der Sauerstoff der Luft; er bildet das active Element; die andere Substanz, der Brennstoff, ist Holzkohle, Steinkohle, Leuchtgas, oder dgl. m. Die Zahl der Brennstoffe ist sehr groß. Wir benutzen hauptsächlich die vorgenannten, ihrer Billigkeit und ihres häufigen Vorkommens wegen. In der Chemie lernt man die anderen kennen.

Wenn zwei Körper von verschiedener Natur sich verbinden,

*) Eine Lieblingsidee von Babinet ist die Bildung einer Actiengesellschaft zur Bohrung des „großen Lochs", durch welches man bis zum Centralfeuer im Innern der Erde vordringen könnte. Jeder Actionär verpflichtet sich, eine Stufe graben zu lassen. Dafür dürfen sich seine Nachkommen am unterirdischen Feuer wärmen.

um einen neuen Körper zu bilden, so wird dabei immer Wärme frei; um aber auch Licht damit hervorzurufen, muß die Verbindung mit einer besonderen Energie vor sich gehn. Rührt man ungelöschten Kalk mit Wasser ein, so sieht man wie die Masse sich erwärmt, es steigt Dampf daraus empor; ein Theil des Wassers verbindet sich mit dem Kalk, wodurch Wärme hervorgerufen wird, und diese löst den übrigen Theil des Wassers in Dampf auf. Die Kalkmasse, die der Maurer bereitet, um mit Sand gemischt den Mörtel daraus zu machen, hat also die Temperatur des siedenden Wassers, sie ist glühend heiß. Hier ist die Kraft, die die Verbindung zwischen Kalk und Wasser bewirkt, nicht energisch genug, um Licht hervorzubringen.

Fig. 12. Verbrennung des Phosphors im Chlor.

Nehmen wir jetzt ein Stückchen Phosphor und legen es in eine kleine irdene Schale, welche ein durch einen Pfropfen gezogener Eisendraht trägt, und senken die Schale in eine Flasche, die mit einem grünlichen Gase, dem sogenannten Chlorgas, angefüllt ist. Es wird eine Verbindung zwischen dem Phosphor und Chlor vor sich gehen; weiße Rauchwolken, aus denen der neugebildete Körper besteht, erfüllen alsbald die Flasche (Fig. 12), und zugleich schwebt eine Flamme so lange über dem Phosphor, bis er gänzlich verzehrt ist. Bei dieser Verbrennung entsteht also Licht, weil

die Kraft, welche Phosphor und Chlor verband, sehr energisch war.

Wir sehen durch dieses Experiment, wie man Körper zu einer Verbrennung zusammenstellen muß, um das Product aufzufangen; wenn wir die Verbrennung der Kohle durch Sauerstoff genauer studiren wollen, so können wir dieselbe Methode anwenden. Eine gut angezündete Kohle wird auf eine irdene Schale gelegt und in eine mit Sauerstoff gefüllte Flasche gesenkt. Sie brennt lebhaft weiter, und sobald sie erloschen ist, kann man feststellen, daß das Gas, welches jetzt in dem Flacon enthalten ist, nicht mehr Sauerstoff ist, und daß die Kohle an Gewicht verloren hat. In der That, führen wir jetzt ein kleines brennendes Licht in die Flasche ein, so erlischt es, während es in Sauerstoff heller und lebhafter brennt, als in der Luft. Was jetzt in der Flasche enthalten ist, entstand durch die Verbindung des Sauerstoffs mit einem Theil der Kohle; es heißt kohlensaures Gas und ist durchsichtig und farblos, wie Luft und Sauerstoff; aber es befördert nicht die Verbrennung, und diese Eigenschaft genügt uns zu seiner Unterscheidung. Wenn die Kohlen auf unserem Feuerherd brennen, so finden dieselben chemischen Vorgänge statt; der Sauerstoff wird der Luft entzogen, und die Kohlensäure entweicht mit dem Gasstrom, der durch die Röhre des Kamins steigt. Dieser Strom besteht aus Kohlensäure, Wasserdampf, Stickstoff, der sich nicht mit der Kohle verbinden kann, und Rauch, d. h. Kohlenstaub, der sich an die Wände der Röhre ansetzt und den Ruß bildet. Dieser Rauch könnte nicht entstehen, wenn der Sauerstoff in genügender Quantität der Feuerung zuströmte, um die Kohle vollständig zu verbrennen. Der Rauch beweist also eine unvollständige Verbrennung. Wir begnügen uns übrigens damit, weil wir sie

nur mit allzukoſtbaren Vorrichtungen in unſeren Kaminen zu einer vollſtändigen machen könnten. Was die auf der Feuerſtelle zurückgebliebene Aſche betrifft, ſo beſteht ſie aus erdartigen Subſtanzen, welche den Kohlen beigemiſcht ſind, ſich aber nicht mit dem Sauerſtoff verbinden.

Man nennt Kohlenſtoff die chemiſch reine Kohle. Als ſolche betrachtet man den Graphit oder das Waſſerblei, woraus die Bleiſtifte gemacht werden, beſonders aber den Diamant. Der Diamant findet ſich im Sande, in Braſilien und Indien. Geglüht und in Sauerſtoff gebracht, verbrennt der Diamant mit Hinterlaſſung einer grauen, zerreiblichen Maſſe, die wie Coke ausſieht. Die Wärmemenge, welche ein Gewichtstheil Kohle (gewöhnliche Kohle oder Diamant) beim Verbrennen entwickelt, iſt immer dieſelbe. Die Verbrennung von 1 Kilogramm Kohlenſtoff im Sauerſtoff liefert 8000 Wärmeeinheiten, welche hinreichen, um 2 Centner Eis zu ſchmelzen. Hieraus ergiebt ſich für uns eine neue Vorſtellung der Geſammtwärme, welche die Sonne ausſtrahlt. Wäre dieſes Geſtirn von einer 27 Kilometer (beinahe 4 Meilen) dicken Kohlenſchicht umgeben, die im Sauerſtoff verbrennte, ſo würde die Gluth dieſer ungeheuren Feuerhölle der Wärme gleichkommen, welche die Sonne wirklich in einem Jahre verſendet. Wollte man annehmen, daß die Sonnenwärme von ſolch einer Feuersbrunſt herrührt, indem man ſich die Sonne als eine aus Kohle beſtehende Kugel dächte, ſo müßte ſie in fünftauſend Jahren gänzlich verbraucht ſein. Da ſie aber ſeit Erſchaffung des Menſchen weder an Größe noch Glanz abgenommen hat, ſo muß man dieſe Hypotheſe verwerfen.

Die Verbrennung des Leuchtgaſes in der Luft liefert uns eine Wärmequelle, welche in Städten, die mit Gas beleuchtet werden, benutzt werden kann. In der Gasfabrik

wird die Steinkohle in geschlossenen Behältern verbrannt; das dabei entwickelte Gas steigt durch Röhren in einen großen Gasometer und wird von hier aus durch unterirdische Canäle nach den verschiedenen Stadttheilen geleitet. Am Ende einer jeden von diesen Canälen abgezweigten Röhre befindet sich ein Gasbrenner, der mit einem Krahn verschlossen wird, wenn man kein Licht haben will. Oeffnet man den Krahn, so dringt ein Gasstrom aus dem Brenner; ein geringer Druck, der im Gasometer ausgeübt wird, genügt diesen Strom zu unterhalten. Das Leuchtgas ist eine Verbindung von Kohlenstoff und Wasserstoff. Wenn man dem Gasstrom ein brennendes Zündhölzchen nähert, so erhitzt man ihn, der Kohlenstoff trennt sich vom Wasserstoff; dieser, der eine große Verwandtschaft mit dem Sauerstoff der Luft hat, verbindet sich mit ihm und bildet Wasserdampf; der Kohlenstoff seinerseits verbindet sich mit dem Sauerstoff zu Kohlensäure. Die beiden Verbindungen erzeugen so viel Wärme, daß die Flamme daraus aufsprüht. Sie erhitzt das Gas, welches fortwährend dem Brenner entsteigt; es brennt nun fort, und die Flamme wird in dem Maße unterhalten, in dem das Gas zuströmt.

Fig. 13. Gasflamme.

Betrachten wir diesen Verbrennungsprozeß in seinen Einzelheiten. Strömt das Gas aus einer geraden Röhre, so hat die Flamme die Form, welche in Fig. 13 abgebildet ist. Strömt dasselbe aus vielen kleinen Oeffnungen, so bilden sich eine Menge einfacher Flammen, die sich zu einer großen zusammensetzen, von denen aber jede, für sich betrachtet, sich wie eine einfache Flamme verhält. Drücken wir auf die Mündung eines ein-

fachen Brenners ein Blatt Papier und ziehen es rasch zurück, ehe es anbrennt, so bemerken wir darauf eine kreisförmige schwarze Spur, den Umriß der Flamme. Wir schließen daraus, daß der Mittelpunkt der Flamme nicht besonders warm ist, so daß hier keine Verbrennung stattfindet; und das können wir uns leicht erklären, wenn wir bemerken, daß die inneren Theile des Gasstrahles nicht mit der Luft in Berührung sind. Die äußeren Theile sind dagegen sehr warm; sie bilden eine Hülle, welche ihren Umriß auf dem Papier hinterlassen hat, indem sie es an diesen Stellen, wo eine Verbindung mit dem Sauerstoff der Luft stattfand, verkohlte.

Diese Hülle ist der leuchtende Theil der Flamme und wir können sie wiederum in zwei Theile zerlegen, was uns dazu führen wird, die Ursache des Lichtes zu entdecken. Nähern wir der Flamme vorsichtig einen sehr feinen Metallfaden; wir werden ihn glühen sehen, bevor er noch den leuchtenden Rand derselben erreicht hat. Es muß sich also außerhalb der Flamme noch eine erste, sehr heiße Schicht befinden; in ihr ist die Verbrennung eine vollständige. In die zweite leuchtende Schicht dringt der Sauerstoff nicht leicht genug ein, um die Verbrennung des sämmtlichen Kohlenstoffs zu bewirken. Dieser bleibt so eine Zeit lang frei, nachdem er sich vom Wasserstoff getrennt, welcher beweglicher als er, dem Sauerstoff der Luft entgegeneilt und sich mit ihm verbindet. Erst etwas später, wenn sich der Kohlenstoff der Spitze der Flamme nähert, verbindet er sich seinerseits, vorausgesetzt, daß die Luft hier von allen Seiten in genügender Menge Zugang findet. Ist das nicht der Fall, so bleibt Kohlenstoff frei, der sich abkühlt und so seine Verwandtschaft mit dem Sauerstoff verliert, welche eine sehr hohe Temperatur verlangt: es bildet sich Rauch. Auf seinem Wege vom Grunde bis zur Spitze

der Flamme wird der Kohlenstoff durch die erste Hülle stark erwärmt und dadurch leuchtend.

Unsere Flamme hat in Summa drei Theile; den dunklen im Mittelpunkt, wo keine Verbrennung stattfindet, wo der Kohlenstoff sich aber vom Wasserstoff zu trennen beginnt; den leuchtenden Theil, wo der Kohlenstoff, einen Augenblick frei, weißglühend wird; endlich die äußere, bläuliche Schicht, die die wärmste ist, und in welcher eine vollständige Verbrennung stattfindet.

Man begreift hiernach, von welcher Wichtigkeit die Form des Brenners ist, und wie man ihn verschieden anwenden muß, je nachdem man Licht oder Wärme wünscht. Im ersten Fall ist es nöthig, daß der Kohlenstoff einige Zeit der Einwirkung der Luft entzogen bleibt, doch aber nicht lange genug, um sich in Rauch verwandeln zu können; will man dagegen Wärme erzielen, so muß man dem Kohlenstoff keine Freiheit gewähren, sondern ihn sobald als möglich verbrennen.

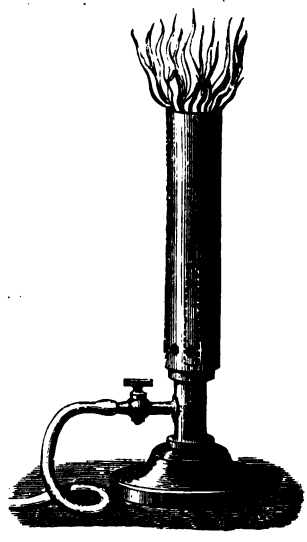


Fig. 14. Bunsen'scher Gasbrenner.

Der berühmte deutsche Chemiker Bunsen construirte nach dieser Theorie einen Gasbrenner, der sich vortrefflich als Wärmequelle bewährt hat. Die gerade Röhre, aus welcher ein Gasstrom aufsteigt, befindet sich in einer größeren, die am unteren *Rande von*

einer Anzahl kleiner Löcher durchbrochen ist. (Fig. 14.) Die Luft tritt durch diese Löcher ein und mischt sich mit dem Steinkohlengas. Diese Mischung, deren Verhältniß durch die Größe der Oeffnungen geregelt wird, zündet man am oberen Ende der größeren Röhre an. Man hat dann eine sehr blasse, aber sehr heiße Flamme. Wenn man die Oeffnungen, durch welche die Luft eintritt, verstopft, so wird die Flamme glänzend, aber dann ist sie weniger heiß.

Fig. 15.
Flamme einer Kerze.

Wie viel Erscheinungen würde die Flamme uns noch zeigen, wenn wir unsere Beobachtungen nicht auf das beschränken müßten, was die Wärme angeht. Eine einfache Kerze, die vor uns brennt, könnte uns in eine lange, anziehende Beobachtung vertiefen. (Fig. 15.) Wir bemerken erstlich den kleinen Krater von weißem Wachs, aus dessen Mitte sich der geschwärzte Docht erhebt, ein wenig zur Seite geneigt. Die Hitze der Flamme höhlt ihn immer tiefer aus, indem sie die Provision geschmolzenen Wachses, die brennen soll, beständig erneuert. Die entfernteren Ränder schmelzen zuletzt; das Flüssige sammelt sich am Fuße des Dochtes und steigt in die tausend kleinen Zwischenräume der geflochtenen Baumwolle, die den Docht bildet; wie der Kaffee, den man mit der Ecke eines Stückchen Zuckers berührt, sich schleunigst durch das ganze Stück verbreitet, seine Poren ausfüllend. Dieses geschmolzene Wachs ist auch eine Verbindung von Kohlen- und Wasserstoff. Unter Zutritt der

Luft erwärmt, löst es sich in Dampf auf und erneuert fortwährend den Vorrath von Gas rund um den Docht herum. Von da ab ist der Vorgang derselbe, wie er vorhin beschrieben. Wir können in der Lichtflamme dieselben drei Partien unterscheiden, die wir bei der Flamme des Steinkohlengases fanden. Der Docht im Mittelpunkt bleibt schwarz, nur sein umgebogenes Ende, das die äußere Hülle erreicht, wird glühend, weil er hier in Berührung mit der Luft einer höheren Temperatur unterworfen ist, die ihn vollständig verzehrt, weshalb er kürzer wird, je weiter die Kerze brennt.

Unter den bemerkenswertheſten Experimenten, welche über die Verbrennung der Kerzen angestellt wurden, führen wir Folgendes an, das unsere Theorie bestätigen wird. Der englische Gelehrte, Dr. Frankland befand sich 1859 zu Chamonix am Fuße des Montblanc. Hier wog er sechs Kerzen und ließ sie während einer Stunde in der Stadt brennen, wog sie darauf von Neuem und maß so den Verlust ihres Gewichtes, den sie in Folge der Umwandlung einer gewissen Quantität Wachs in kohlensaures Gas und Wasserdampf erlitten. Nun schaffte er dieselben Kerzen nach dem Gipfel des Berges, und ließ sie auf der Höhe von ohngefähr 3700 Meter nochmals eine Stunde lang brennen, wobei er sie durch ein Zelt gegen den Wind schützte. Die Verbrennung schien sehr schwach; die Flammen waren sehr blaß, und dennoch fand man, als man die Kerzen bei der Rückkehr wog, daß fast dieselbe Quantität Wachs als früher am Fuße der Berges verbraucht war. In beiden Fällen geschah die Verbrennung also mit derselben Energie, aber auf dem Berge ist der Luftdruck nur halb so stark als im Thale, die Luft ist deshalb dünner, sie kann die Flamme leichter durchdringen, und verbrennt hier den Kohlenstoff, ohne ihn einen Augenblick frei

zu lassen; deshalb ist die Flamme so blaß. Diesem Schluß zufolge mußte man annehmen, daß dieselben Kerzen bei einem sehr starken Druck räuchrig brennen würden, weil die zusammengepreßte Luft nicht beweglich genug ist, um die Flamme schnell zu durchdringen, so daß ein großer Theil des Kohlenstoffs sich abkühlt und dadurch am Brennen verhindert wird. Das hat Dr. Frankland später in der That bewiesen.

Unter den gebräuchlichen Brennstoffen giebt der Wasserstoff, wenn er sich mit Sauerstoff verbindet, um Wasser zu bilden, die meiste Wärme. Bei gleichem Gewicht mit der Kohle erzeugt er eine vier Mal so große Quantität Wärme als diese. Aber sein Gebrauch wird dadurch erschwert, daß er erst durch chemisches Verfahren zubereitet und in sehr großen Behältern aufbewahrt werden muß, denn da er ohngefähr 13 Mal leichter ist als die Luft, so nimmt er viel Raum ein. Ferner brauchte man auch reinen Sauerstoff, in besondere Gefäße verschlossen. Das ist also ein sehr umständliches und kostbares Mittel, sich Wärme zu verschaffen, und man wendet es nur in gewissen Fällen an, wo das

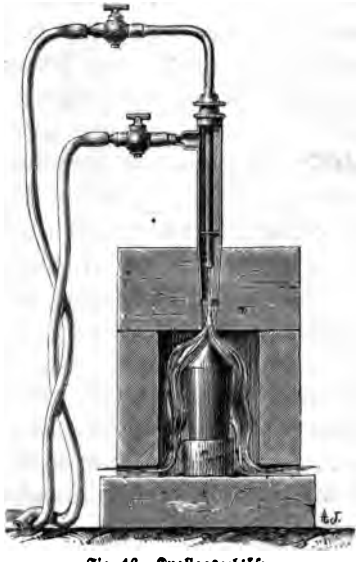


Fig. 16. Knallgasgebläse.

gewöhnliche Verfahren nicht ausreicht, z. B. wenn es gilt, strengflüssige Metalle zum Schmelzen zu bringen. Folgendes ist die Einrichtung eines Knallgasgebläses, welches zum Schmelzen des Platins gebraucht wird, da dieses Metall dem gewöhnlichen Schmiedefeuer widersteht. Der Sauerstoff wird durch ein kupfernes Rohr zugeleitet, welches in eine Platinspitze endet; der Wasserstoff durch ein concentrisches Rohr, welches ebenfalls eine Platinspitze hat (Fig. 16). Das angezündete „Knallgas" brennt mit einer blassen, außerordentlich heißen Flamme. Der Strahl wird durch eine enge cylindrische Oeffnung in einen Block von ungelöschtem Kalk geführt, welcher als Deckel auf einem Kalkgefäß liegt. In das Gefäß sind unten kleine Löcher gebohrt, durch welche der Wasserdampf entweicht, der das Verbrennungsproduct des Wasserstoffs ist. Im Innern befindet sich ein gleichfalls aus Kalk gefertigter Schmelztiegel, in dem das Metall verschlossen ist. Die Flamme beleckt den Tiegel von allen Seiten, und so schmilzt das Metall. Um 1 Kilogr. Platin in Fluß zu bringen, braucht man 60 Liter Sauerstoff und 120 Liter Wasserstoff.

3. Wärme durch mechanische Wirkungen erzeugt.

Nächst den chemischen Reactionen bietet uns die mechanische Arbeit das wichtigste Hilfsmittel zur Wärmeerzeugung; es lassen sich eigentlich sogar alle anderen auf dieses eine zurückführen.

Daß Reibung Wärme entwickelt, ist allbekannt. Seneka berichtet, daß die Hirten sich Feuer verschaffen, indem sie das Ende eines harten Holzscheites in der Höhlung eines anderen reiben; und dieses Verfahren ist auch jetzt noch bei den wilden Völkern gebräuchlich. Die Zapfen einer Maschine erhitzen sich durch die Reibung an ihren Lagern; die Naben der Räder

gerathen oft in Brand, während sie sich schnell um ihre Achse drehen, und auf den Eisenbahnen sind durch diese Ursache schon Feuersbrünste entstanden. Darum muß man eine fettige Substanz zwischen die reibenden Flächen bringen und diese oft erneuern. Wenn die Reibung sehr stark ist, so findet eine Trennung, eine Losreißung der Bestandtheile statt und die Hitze wird außerordentlich intensiv. So streut ein auf einem Flintenstein reibendes Stahlrad weißglühende Metalltheilchen umher, welche man zur Beleuchtung in Bergwerken zu benutzen versucht hat. Wenn wir Feuer anschlagen, so führen wir etwas Aehnliches aus; die durch die starke Reibung mit dem Stein glühend gewordenen Eisentheilchen fallen auf den Zunder und setzen ihn in Brand.

Beim Bohren der Metalle bemerkt man ebenfalls eine große Wärmeentwickelung. Rumford ließ eine Kanone, die gebohrt werden sollte, auf der Drehbank befestigen; an dem einen Ende wurde eine Höhlung gemacht, in welche das Ende eines stumpfen Bohrers paßte; dann wurde das Ganze mit Wasser umgeben. Während nun der Bohrer arbeitete, wurden in $2^1/_2$ Stunden zehn Quart Wasser zum Sieden gebracht und verdampft. Der Hammer, der auf den Amboß niederfällt, erwärmt das Eisen. Die Bleikugel, welche die Zielscheibe trifft, kann sich bis zum Schmelzen erhitzen.

Fig. 17. Compression der Flüssigkeiten.

Alle Körper erwärmen sich durch Compression. Bei den festen und flüssigen, die verhältnißmäßig wenig zusammengedrückter sind, ist die Erwärmung auch nur gering. So muß man auf gewöhnlichen Aether einen Druck von 30 Atmosphären ausüben, damit seine Temperatur um 6 Grad steigt. Denken wir uns, um von diesen

Cylinder, der
1 Decimeter
decimeter oder
ie Oberfläche
dieſer Druck

Fig. 18.
Luftfeuerzeug.

theilt die Wärme sich sogleich den benachbarten Körpern mit und ihre Wirkung wird dadurch abgeschwächt. Wenn man den zusammenzupressenden Körper in einen Behälter einschließt, der die Wärme schlecht leitet, wie z. B. Glas, so vermindert man diesen Verlust.

4. Die durch eine mechanische Arbeit erzeugte Wärme ist dieser Arbeit äquivalent.

Alle diese Erscheinungen, deren Form ins Unendliche variirt werden kann, haben einen gemeinschaftlichen Charakter, der erst vor wenigen Jahren erkannt worden ist, und den genau zu verstehen, von großer Wichtigkeit ist. Es sind dazu vorerst einige Begriffe aus der Mechanik erforderlich.

Wenn ein Körper ruht, so kann er sich nicht von selbst in Bewegung setzen. Erst durch eine äußere Ursache, die wir Kraft nennen, kann dies geschehen. So lange die Kraft wirkt, ist die Bewegung des Körpers allen Veränderungen unterworfen, die von der Art ihrer Wirkung abhängen; wird die Kraft unterdrückt, so fährt der Körper fort, sich in derselben Richtung gleichmäßig weiter zu bewegen, ohne daß er im Stande wäre, diese Bewegung selbst zu ändern. Er gehorcht dem Antrieb, welchen die Kraft ihm gegeben, und das dauert so lange fort, als keine andere Ursache dazwischen tritt. Hier haben wir eine der Grundeigenschaften der rohen Materie: das Gesetz der Trägheit.

Es giebt im ganzen Weltall keinen Körper, der nicht der Wirkung irgend einer Kraft unterworfen wäre, denn alle Körper ziehen sich gegenseitig an, einem Gesetz gehorchend, das wir die allgemeine Schwere nennen. Diese Anziehung bewirkt, daß die Erde jährlich ihren Kreislauf um die Sonne

beschreibt, daß der Mond sich zu gleicher Zeit um die Erde dreht und alle Himmelskörper im Weltraum sich bewegen.

In sehr vielen Fällen kann ein Körper von einem gewissen Gesichtspunkt aus so erscheinen, als ob keine Kraft auf ihn wirkte; z. B. wenn wir ihn in Beziehung auf uns selber betrachten. Eine Kugel, die an einem Faden hängt, wird in Wirklichkeit ebenso, wie wir selbst, von der Erde im Himmelsraum fortgeführt, aber wir sagen, sie rührt sich nicht, weil sie sich nicht von uns entfernt. Sie ist in relativer Ruhe, nicht in absoluter; sie bewegt sich in der That mit der Erde, und unter dem Einfluß derselben Kräfte. Obgleich sie ferner in relativer Ruhe zur Erde ist, wird sie doch von dieser angezogen, und wenn sie nicht fällt, so liegt das daran, daß der Faden sie zurückhält. Der Faden wird durch das Gewicht der Kugel gespannt, seine Cohäsion widersteht der Zugkraft; die Kugel ist also zwei gleichen und entgegengesetzten Kräften unterworfen, von denen die eine sie nach oben, die andere nach unten zieht; diese Kräfte heben sich auf, und deshalb fällt die Kugel nicht. Indem wir diese Erklärung finden, sehen wir, daß die Erscheinung dem Gesetz der Trägheit keineswegs zuwider ist. Schneiden wir jetzt den Faden ab, so zerstören wir eine der beiden Kräfte, die sich das Gleichgewicht hielten, die Schwere wirkt nun allein, die Kugel fällt. Sie fällt aber nicht mit gleichmäßiger, sondern mit beschleunigter Geschwindigkeit: in der ersten Secunde 5 Meter, in der zweiten 15, in der dritten 25, u. s. f.

Der Fall eines Körpers stellt eine gewisse Arbeit vor, die man abschätzt, indem man sein Gewicht mit dem durchlaufenen Weg multiplicirt. Wenn zum Beispiel das Gewicht 1 Kilogr. beträgt und die Höhe des Falles 425 Meter, so sagt man, es ist eine Arbeit von 425 Kilogrammetern gethan.

Der Körper hat jetzt eine gewisse „lebendige Kraft“ erworben, die sich z. B. in der Schnelligkeit, die er besitzt, äußert.

Nehmen wir an, daß unser Kilogramm eine sehr elastische Elfenbeinkugel ist, welche, nachdem sie 425 Meter tief gefallen, eine fest am Boden haftende Marmorfläche trifft; sie wird abprallen, und wenn die Fläche vollständig horizontal ist, noch einmal bis fast zu der Höhe von 425 Metern aufsteigen, also bis zu dem Punkt, von dem sie ausgegangen. Hier scheint sie einen Augenblick zu ruhen, und wenn jetzt die Schwere aufhören würde auf sie zu wirken, so bliebe sie eine unbegrenzte Zeit unbeweglich.

Was hat sich nun während des Stoßes der Kugel gegen die Fläche zugetragen? Die Kugel ist abgeplattet worden, und die Marmortafel hat an der Berührungsstelle einen leichten Eindruck erhalten. Man könnte diese Thatsache leicht erkennen, wenn man die Oberfläche der Kugel mit einer fettigen Substanz bestriche: nach dem Fall fände man auf der Fläche einen zirkelrunden Fleck, ein Beweis, daß die Berührung an einer großen Anzahl von Punkten stattgefunden. Eine runde Kugel aber berührt eine Fläche nur an einem einzigen Punkt; also hat der Stoß eine zweifache Formveränderung zur Folge gehabt: die Abplattung der Kugel und den Eindruck auf der Marmorplatte. Dieser Eindruck ist indessen nur unbedeutend, und wir können annehmen, daß er gar nicht existirt; nur in diesem Falle nämlich kann die Kugel genau zu derselben Höhe aufsteigen, aus der sie gefallen ist. Wir werden also die Platte als vollkommen hart betrachten und nur die Abplattung der Kugel berücksichtigen.

Die Kugel wurde allmählich abgeplattet, während sie ihre Schnelligkeit verlor, und in dem Augenblick, als die Formveränderung den höchsten Grad erreicht hatte, war die

Schnelligkeit null. Darauf nahm die Kugel wieder ihre ursprüngliche Form an, während sie fortfuhr, die Fläche zu berühren, und trennte sich schließlich von derselben, um wieder aufzusteigen. Während sie aufstieg, wirkte die Schwere als Widerstand, der sich ihrer Bewegung entgegensetzte. Allerdings wirkt auch die Luft als Widerstand, in demselben Sinne wie die Schwere, dieser ist indeß so gering, daß wir ihn nicht weiter beachten. Als die Kugel auf der Höhe von 425 Meter zum Stillstand gelangte, betrug die Arbeit der Widerstandsüberwindung 425 Kilogrammeter. Also die während des Fallens entwickelte Energie ist im Stande, denselben Körper zu einer der Fallhöhe gleichen Höhe emporzuheben; hat sie dies gethan, so ist sie vollständig verschwunden. Im Allgemeinen nennen wir „verbrauchte Arbeit" die Wirkung einer Kraft, welche einen Körper bewegt, und „erzeugte Arbeit" die Wirkung eines durch die Bewegung des Körpers besiegten Widerstandes. In unserem Beispiel haben wir eine, während des Fallens verbrauchte Arbeit von 425 Kilogrammetern, und eine gleiche, während des Steigens erzeugte Arbeit.

Das eben beschriebene Experiment hat den Zweck, zu erklären, worin das Princip der Erhaltung der Kraft besteht. Wenn eine Kraft auf einen Körper gewirkt und ihn damit in Bewegung gesetzt hat, so hat sie ihm eine gewisse Energie mitgetheilt, deren Maß die verbrauchte Arbeit ist; der Körper verliert diese Energie, diese „lebendige Kraft", wenn er einen Widerstand beseitigt und damit eine der vorigen gleiche Arbeit ausführt. Diesen Vorgang haben wir eben beobachtet. Oft verliert der Körper seine Energie auf andere Weise, nämlich wenn er sie auf andere Körper überträgt und selbst in Ruhe tritt. Dann verlieren die Körper, welche diese Energie erworben haben, sie ihrerseits, indem sie eine

entsprechende mechanische Arbeit leisten, wenn sie wieder zur Ruhe gelangen. In diesem Entsprechen der verbrauchten und erzeugten Arbeit liegt die „Erhaltung der Kraft". Diese und ähnliche Fragen behandelt die Mechanik; wir können dieselben hier nur im Vorbeigehn berühren, um uns das Verständniß der folgenden Sätze zu erleichtern.

Nehmen wir wieder unsern Körper von 1 Kilogr. und lassen ihn von 425 Metern Höhe in eine Wassermasse fallen. Diese bewegt sich lebhaft, beruhigt sich aber allmählich, und bald sind Wasser und Kugel ganz in Ruhe. Es hat sich dem Wasser wol eine Bewegung mitgetheilt, aber diese ist erstorben, ohne daß wir in der Umgebung eine ausgeführte Arbeit von 425 Kilogrammetern entdecken könnten. Die während des Falles durch die Schwere entwickelte Kraft scheint aufgehoben, ohne daß eine andere Kraft sichtlich überwunden wäre. Das Princip der Erhaltung der Kraft scheint sich hier nicht zu bestätigen.

Aber untersuchen wir dieses Wasser jetzt näher; wenn wir vor dem Falle ein Thermometer hineingestellt, so werden wir sehen, daß die Temperatur gestiegen ist. Das Wasser selbst hat sich also, während es die Schnelligkeit des Körpers aufhob, erwärmt; es hat Wärme hervorgebracht. Ist es also nicht natürlich, anzunehmen, daß diese Wärme gerade das Aequivalent der Quantität Arbeit ist, die wir nicht auffinden konnten und daß die von der Schwere herrührende Kraft nicht aufgehoben, sondern einfach *verwandelt* ist, die Form einer anderen Kraftwirkung angenommen hat, die wir Wärme nennen? Die Massenbewegung wurde durch eine molekulare Bewegung ersetzt, die unsere Augen nicht sehen, deren Wirkungen wir aber mit Hilfe des Thermometers verfolgen können. Wir sprechen also eine Thatsache

aus, wenn wir sagen: die erzeugte Wärme ist äquivalent (gleichwerthig) mit der verbrauchten mechanischen Arbeit.

5. Das mechanische Aequivalent der Wärme.

Die Grundzüge der Ansicht über die Aequivalenz von Wärme und Arbeit sind erst in den vierziger Jahren dieses Jahrhunderts von Dr. Mayer in Heilbronn, Joule in Manchester, Colding in Kopenhagen, u. A. aufgestellt worden. Nach den Untersuchungen dieser Gelehrten beträgt die Wärme, welche einer Arbeit von 425 Kilogrammetern entspricht, gerade eine Wärmeeinheit; deshalb nennt man diese Zahl (425 Kilogrammeter) das mechanische Aequivalent der Wärme. Fällt ein Körper aus irgend einer Höhe ins Wasser, so entsteht Wärme; wie viel? Das findet man, wenn man die verbrauchte Arbeit durch 425 dividirt. Wiegt der Körper z. B. 10 Kilogramm und fällt aus einer Höhe von $42\frac{1}{2}$ Metern, so ist die verbrauchte Arbeit wieder 425, sie erzeugt also wieder eine Wärmeeinheit; betrüge die Höhe 85 Meter, so wäre die Arbeit 850, es würden zwei Wärmeeinheiten erzeugt, u. s. w.

Wir sind schon am Ende des zweiten Kapitels dem mechanischen Aequivalent der Wärme begegnet; damals handelte es sich um Ausführung von Arbeit durch Wärme. Wir können nun folgenden Grundsatz aussprechen: wenn die Wärme zur Widerstandsbeseitigung dient, so verschwindet eine Einheit, während 425 Kilogrammeter producirt werden; wenn die Wärme umgekehrt durch eine mechanische Wirkung erzeugt wird, so erscheint eine Einheit, während 425 Kilogrammeter verbraucht werden.

Dieselbe wechselseitige Beziehung zwischen der mechanischen Arbeit und der Wärme existirt auch in allen anderen Fällen,

wo durch einen Schlag, Stoß, durch Reibung oder Zuſammendrückung Wärme erzeugt wird. In allen Experimenten, wo man dieſe wechſelſeitige Beziehung meſſen will, muß man zweierlei Beobachtungen anſtellen; die einen ſind dazu beſtimmt, durch Berechnungen nach den Principien der Mechanik die Quantität der verausgabten Arbeit kennen zu lehren; die andern dienen dazu, die geſchaffene Wärme nach den Regeln der Phyſik zu berechnen. Wir führen nur ein Beiſpiel an. Zwei Kupferplatten, befeſtigt an einer vertikalen Achſe, ſind vollſtändig in Waſſer getaucht, und um die Achſe windet ſich eine Schnur, welche über eine Rolle geht und durch ein Gewicht geſpannt wird. (Fig. 19.) In dem Waſſer

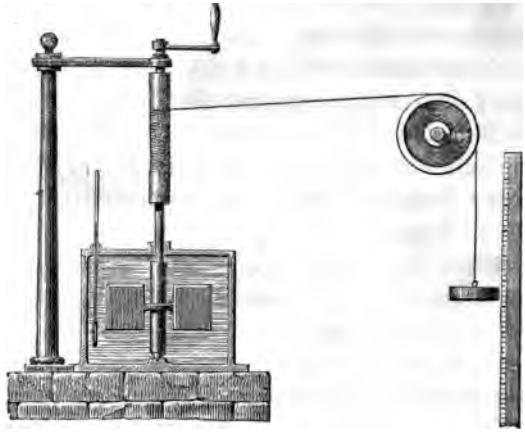


Fig. 19.

befindet ſich ein Thermometer. Man hat vorher das Waſſer, das Gefäß und die Platten abgewogen. Nun läßt man das Gewicht an der Schnur niederfallen. Die Schwere iſt hier die bewegende Kraft, und die verrichtete Arbeit erhalten wir

durch Multiplikation des Gewichtes mit der durchfallenen Höhe. Die Platten bewegen das Wasser, und durch diese Reibung wird Wärme entbunden. Man notirt die Erhöhung der Temperatur, die der Thermometer angiebt, und hat nun Alles, was zur Messung der Wärme erforderlich ist. Was die verbrauchte Arbeit betrifft, so ist hier Mehreres zu beobachten. Das Gewicht steigt herab und steht still, sobald es den Boden berührt; hat man nun einfach die Höhe des Weges mit dem Betrag des Gewichtes zu multipliciren? Nein; denn dieses Product ist wol die bewegende Arbeit, aber sie ist nicht ganz verausgabt und in Wärme verwandelt durch die Reibung der Platten. Ein Theil ist aufgewandt, um die Steifigkeit der Schnur und den Widerstand der Luft zu überwinden, ein anderer, um ein Wenig Wärme durch Reibung der Rolle und der Achse, welche die Platten trägt, hervorzubringen, und diese Wärme wird von dem Thermometer nicht gemessen; endlich, wenn das Gewicht den Boden berührt, wird auch durch den Zusammenstoß noch Wärme erzeugt, die man nicht beobachtet. Man kann die auf diese Weise verlorene Arbeit berechnen, doch ist das Verfahren zu umständlich, um es hier aus einander zu setzen. Zieht man diese nun von der ganzen Summe der ausgeführten Arbeit ab, so hat man die Quantität, welche man mit der vom Thermometer angegebenen Wärme vergleichen muß. Dieses Experiment wurde im Jahre 1843 von Joule ausgeführt.

6. Naturerscheinungen, wo die mechanische Kraft in Wärme verwandelt wird.

Verlassen wir nun das Laboratorium des Physikers, um uns in der Natur nach ähnlichen Vorgängen umzusehen. Denken wir uns z. B., daß wir auf der Eisenbahn fahren.

So oft der Zug anhält, hören wir die Bremse knirschen, die sich an die Räder legt, um die Bewegung zu hemmen. Die Reibung der Bremse erzeugt eine bedeutende Hitze, während die Geschwindigkeit des Zuges allmählich abnimmt; die Hitze repräsentirt verbrauchte Arbeit, nämlich die Arbeit der Locomotive, die den Zug in Bewegung setzte und ihm seine Geschwindigkeit verlieh. Nun setzt sich der Train wieder in Marsch; der Dampf drückt auf den Kolben, und dieser überträgt den Druck auf die großen Räder der Maschine; diese theilen ihn ihrerseits den Eisenbahnschienen mit, und diese wirken wieder zurück; die Rückwirkung der Schienen ist es, die den Train vorwärts treibt. Hörte die Reibung auf, und die Schienen wären vollständig horizontal, so würde der Train sich wie eine der Wirkung der Schwere entzogene Masse verhalten, die einen Stoß empfangen. Er würde sich gleichmäßig bewegen vermöge seiner Trägheit, ohne daß man nöthig hätte, den Stoß zu wiederholen, Arbeit zu verausgaben. Aber auf jeder Achse und auf den Schienen findet Reibung statt; darum muß man fortfahren den Dampf wirken zu lassen, d. h., die Kraft zu unterhalten. Die bewegende Arbeit, welche die Maschine ausgiebt, wird dazu verwendet, „die Reibung zu überwinden". In Wirklichkeit dient sie zur Erzeugung der Wärme, welche die Reibung begleitet; und da diese Arbeit auf Kosten der Wärme geschieht, die in der Feuerung der Maschine durch Verbrennung entstanden, so kann man sagen, daß der Dampf die Wärme der Feuerung verbraucht, während die reibenden Flächen eine gleiche Quantität Wärme hervorbringen, welche sich zerstreut. Und so geht nichts in der Natur verloren, die ganze Schwierigkeit liegt darin, die verschiedenen Verwandlungen einer Kraft zu verfolgen. Bei der Bewegung des Eisenbahnzuges auf einem

horizontalen Wege wird die Wärme der Feuerung fortwährend in mechaniſche Arbeit verwandelt und die Arbeit ſelbſt wird wieder in die bei der Reibung entſtandne Wärme umgeſetzt; die Bewegung der Atome bei der Verbrennung wird auf die großen Maſſen des Trains übertragen und dieſe Maſſen theilen ſie ihrerſeits vermittelſt der Reibung anderen Atomen mit.

Nach dieſer Auseinanderſetzung werden wir die Nothwendigkeit einer reichlichen Einfettung der Achſen begreifen. Wenn der dazu Angeſtellte es verſäumt, das Oel, welches ſich zu dieſem Behufe in kleinen Behältern an jedem Achſenende befindet, oft zu erneuern, ſo wird die Reibung ſtärker, die Reibungswärme nimmt zu, und der Heizer iſt genöthigt, mehr Kohlen zu verbrennen. Es entſteht daraus alſo gleichzeitig Feuersgefahr und ein übertriebener Verbrauch von Brennmaterial, den man zu vermeiden ſuchen muß.

Machen wir jetzt dem Rheinfall einen Beſuch, dem ſchönſten Waſſerfall in ganz Europa. Das Waſſer des Rheines ſtürzt bei einer Breite von 100 Metern, 20 Meter tief herunter. Die Natur ſelbſt hat dieſe gewaltige Barre im Flußbette errichtet und die Schwere läßt jedes Kilogramm Waſſer, das auf der Höhe anlangt, 20 Meter tief fallen. Wir haben hier alſo eine Arbeit von 20 Kilogrammetern, die in Wärme umgeſetzt wird. Die Schnelligkeit unſeres Kilogramms Waſſer nimmt während des Fallens zu, aber dieſer Zuwachs verliert ſich im Strudel der Wellen; der Lauf des Stromes iſt auf einer Seite des Falles nicht ſchneller als auf der andern in einiger Entfernung. In der Mitte der ſprudelnden Wellen am Fuße des Waſſerfalles geſchieht die Verwandlung der mechaniſchen Arbeit der Schwere in Wärme. Eine Waſſermaſſe von 21 Kilogrammen erzeugt durch ihren Fall eine Wärmeeinheit. Nehmen wir an, daß in einer

Secunde 210 Kubikmeter Waſſer vorbeipaſſiren, was für einen ſo großen Strom kein ungewöhnlicher Satz iſt, ſo fallen in der Secunde 210,000 Kilogramme 20 Meter tief; dies giebt 10,000 Wärmeeinheiten in der Secunde, oder 864 Millionen Einheiten in einem Tage, eine Wärmemenge, welche hinreicht, um 12,000 Kubikmeter Eis zu ſchmelzen (einen Eisberg, groß wie ein Haus). Dies iſt aber lange nicht alle Wärme, welche die Bewegung des Stromes hervorbringt. In ſeinem Lauf von der Quelle bis zur Mündung fließt das Waſſer eine ſanfte Abdachung hinunter, durch die Schwere angetrieben, und die Ufer, ſowie den harten Boden des Bettes unaufhörlich reibend: eine neue Urſache der Erwärmung, ein neues Beiſpiel für die Erhaltung der Kraft.

Gehen wir bis zur Mündung des Stromes und verweilen einen Augenblick am Strande des Meeres. Die gewaltigen Wogen, welche am fernen Horizont ihre ſchäumenden Kronen erheben, verdanken ihr Entſtehen einer Kraft, wie der des Windes; ihre Schwere drückt ſie nieder; andere erheben ſich und fallen wieder, und dieſe ganze Bewegung, dieſe Umwälzung geſchieht nach einem beſtimmten Geſetz, einer beſtimmten Ordnung. Tiefe Furchen, Thälern gleichend, nähern ſich in paralleler Linie dem Ufer, und jedes flüſſige Thal verſchwindet wie ein Waſſerfall, der ſich in einem letzten Aufbrauſen erſchöpft. Das iſt die Ordnung im Chaos. Findet nicht bei dieſen ins Unendliche vervielfältigten Bewegungen fortwährende Erzeugung von Wärme ſtatt, und haben die Seeleute alſo nicht Recht, wenn ſie ſagen, das bewegte Meer iſt wärmer als das ruhige? Und die Badenden, welche den Stoß der Wellen empfangen, ſammeln ſie nicht auch ihren Theil von dieſer Wärme ein?

Unter den Bewegungen des Oceans giebt es noch eine

weit großartigere als die bisher betrachtete, die einen bedeutenden Einfluß auf den Wärmezuſtand unſerer Erdkugel hat. Es iſt dies die Ebbe und Fluth.

Zwiſchen der Erde und dem Monde beſteht eine gegenſeitige Anziehung, die bis zur Berührung gehen würde, wenn nicht ein gegebener Antrieb dieſer Kraft entgegenſtände, deſſen Wirkung ſich mit derjenigen der Anziehungskraft verbindet, um den Mond in einer beinahe kreisrunden Bahn um die Erde zu führen. Dieſe Anziehung erhebt den Ocean unter dem Monde, aber zugleich auch auf der entgegengeſetzten Seite der Erdkugel (weil das Waſſer hier weniger angezogen wird, als der feſte Erdkern). Die Figur 20 zeigt dieſe doppelte Fluthwelle. Da ſich die Erde nun in 24 Stunden um

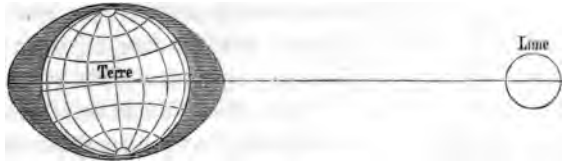


Fig. 20. Ebbe und Fluth.

ihre Axe dreht, ſo ſcheint der Mond von Oſten nach Weſten zu gehn, und die Fluthwelle wandert mit ihm über die Fläche des Meeres, ſoweit es die Unregelmäßigkeiten der Erdoberfläche geſtatten. Da es zwei Fluthwellen giebt, ſo ſteigen die Waſſer zweimal des Tages am ſelben Ort, zu beſtimmten Stunden, die ſich vorher berechnen laſſen. Da nun das Meer von dem Monde aufgehalten wird, während das Feſtland ſich dreht, ſo wird das erſtere wie ein Hemmſchuh auf das letztere wirken, und durch ſeine Reibung Wärme erzeugen. Es liegt nahe, anzunehmen, daß dieſe Wärmeentwickelung auf Koſten

der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde stattfindet, woraus folgen müßte, das die Dauer des Tages allmählich zunimmt. Eine solche Zunahme ist aber bis heute nicht beobachtet worden, sie ist jedenfalls außerordentlich gering. Man hat sich in neuerer Zeit mehrfach mit dieser Frage beschäftigt, die früher bereits von Immanuel Kant und von Dr. Mayer in Heilbronn angeregt worden war; man hat versucht, einen Einfluß der Fluthreibung in der Bewegung des Mondes nachzuweisen, es läßt sich aber gegen diese Schlüsse viel einwenden.

Ein englischer Physiker, William Thomson, hat die Wärme ausgerechnet, welche dadurch entstehen würde, daß die Erde durch Anlegung eines Hemmschuhs ganz zum Stillstand gebracht würde; er fand, daß dieselbe der Wärme gleichkommt, welche die Sonne in 81 Tagen ausstrahlt.

Jedermann hat Sternschnuppen gesehen. Zu gewissen Zeiten des Jahres, im August und November, sind sie besonders zahlreich. In Boston hat man einmal bis 240,000 in 9 Stunden geschätzt. Vermuthlich sind es kleine planetarische Massen, die von der Erde, wenn sie derselben nahe kommen, so stark angezogen werden, daß sie in unsere Atmosphäre gerathen*). Die starke Reibung, welche sie erfahren, indem sie sich mit großer Geschwindigkeit durch die Luft bewegen, erhitzt diese Meteore, so daß sie in Brand gerathen; viele verbrennen vollständig, andere (die Feuerkugeln) zerplatzen wie Bomben und fallen als Meteorsteine zur Erde. Solche Steinfälle sind von Umständen begleitet, die auf die Zuschauer großen Eindruck machen: ein Rollen, wie von

*) Nach den neuesten Untersuchungen von Schiaparelli scheinen Sternschnuppen und Kometen denselben Ursprung zu haben; die Sternschnuppen sind kleine Kometen, die truppweise vorkommen.

fernem Donner, ein Knattern, wie Gewehrfeuer, blendender Lichtschein, u. s. w. Der Zusammenstoß mit der Atmosphäre bringt also Wärme und Licht hervor; auch das Niederfallen der Steine auf den Boden muß noch Wärme entwickeln.

Auf diesen Bemerkungen beruht eine ziemlich sonderbare Hypothese über den Ursprung der Sonnenwärme. Der ganze Weltraum ist nach dieser Ansicht mit Asteroïden, d. h. mit Schwärmen von kleinen selbstständig herumirrenden Massen erfüllt. Jeder Schwarm kreist um eine Centralmasse, der er sich allmählich nähert. Die Sonne ist das Centrum eines solchen Schwarms, der einen Schein verbreitet, welchen die Astronomen Zodiakallicht nennen. Diese Asteroïden fallen nun unaufhörlich auf die Sonne, etwa wie ein Regen von Wurfgeschossen, welche Wärme schaffen, während sie ihre Schnelligkeit verlieren. William Thomson hat berechnet, daß die Quantität Materie, die jedes Jahr auf die Sonne fallen müßte, um ihre Wärme zu unterhalten, eine Schicht von 20 Metern Tiefe auf ihrer Oberfläche bilden würde. Die Masse dieses Gestirnes würde demnach stufenweise wachsen, und die Rechnung ergiebt, daß seine Axendrehung dadurch in 53 Jahren um eine Stunde verlangsamt, und sein scheinbarer Durchmesser in 40,000 Jahren um ein Zehntel einer Bogensecunde vergrößert werden müßte. Vielleicht kommen die Astronomen noch dahin, diese Resultate durch die Beobachtung zu verificiren. Die vorstehende Theorie der Sonnenwärme ist zuerst von Mayer in Heilbronn ausgesprochen worden; Waterston, Thomson, u. A. haben sie weiter ausgebildet.

„Es ist durch den Apostel Petrus prophezeihet (sagt Tyn„dall in einer Vorlesung über die Kraft, gehalten zu London „i. J. 1862), daß die Elemente durch das Feuer verzehrt

„werden ſollen. Die Bewegung der Erde allein begreift „Alles in ſich, was dieſe Prophezeihung in Erfüllung gehen „laſſen kann."

Die Erde wandert um die Sonne mit einer Schnelligkeit von mehr als 100,000 Kilometern in der Stunde. Wenn dieſe Bewegung plötzlich gehemmt würde, ſo entſtände dadurch eine Quantität Wärme, groß genug um den ganzen Erdball in Dampf aufzulöſen; fiele die Erde, wie einer jener Sterne, auf die Sonne, ſo würde ſie durch den Zuſammenſtoß ſo viel Wärme befreien, als eine 6000 Mal ſo große Kohlenkugel, die im Sauerſtoff brennt.

Verlaſſen wir nun die Himmelsräume und kehren wieder auf unſeren beſcheidenen Planeten und in unſer Laboratorium zurück. Werden wir uns nicht verſucht fühlen, über den Mechanismus der Atom-Bewegungen nachzudenken, und die chemiſche Wärme nach denſelben Grundſätzen zu erklären? Gleicht unſere Kohle, die im Sauerſtoff brennt, nicht einer kleinen Sonne mit ihrem Aſtroidenſchwarm, der auf ſie herabſtürzt? Müſſen nicht auch die Atome des Sauerſtoffs, die ſich auf die Kohle werfen, um mit ihr vereinigt zu werden, Wärme hervorbringen, indem ſie ihre Schnelligkeit einbüßen? So hätte die Verbrennungswärme denſelben Urſprung wie die Sonnenwärme.

Vergeſſen wir nicht, daß dies Alles nur Vermuthungen, Hypotheſen ſind; aber doch, wie gut erklären ſie die Thatſachen! Welch' einfachen, natürlichen Zuſammenhang laſſen ſie ahnen!

7. Wärme durch Elektricität erzeugt.

Der Blitz iſt die bedeutendſte elektriſche Erſcheinung, die wir kennen; er bringt oft die Wirkungen einer höchſt inten-

ſiven Hitze hervor. Man hat große Metallmaſſen an der Oberfläche durch den Blitzſtrahl ſchmelzen ſehn. Hier ſind es Glieder einer maſſiven Kette, die aneinander gelöthet werden; dort findet ſich der Hammer einer Thurmuhr an die Glocke geſchweißt; anderswo ſind Ziegel, Steine verglaſt; an einem andern Orte iſt die Vergoldung von den Möbeln verſchwunden, weil die Hitze ſo ſtark war, daß ſie das Gold in Dampf auflöſen konnte, was eine außerordentlich hohe Temperatur vorausſetzt; manchmal iſt es eine Feuersbrunſt, die ausbricht.

Die Phyſiker können dieſe Erſcheinungen in verjüngtem Maßſtabe in ihren Laboratorien wiedergeben. Aber beſonders die galvaniſchen Säulen zeigen ſich als Wärmequellen, die in ihren verſchiedenen Anwendungen ſehr wirkſam ſind. Die galvaniſche Säule beſteht im Weſentlichen aus einer Kupfer- und einer Zinkplatte, die, ohne ſich zu berühren, in angeſäuertem Waſſer ſtehen. An jeder Platte befeſtigt man ein Ende deſſelben Kupferdrahts; es wird dann zu gleicher Zeit in dem Draht und im Waſſer Wärme frei, ſo lange als ſich Zink darin auflöſen kann. Dieſe Auflöſung des Zinks iſt eine chemiſche Verbindung, die Wärme erzeugt. Durch genaue Meſſungen hat man gefunden, daß ein 1 Kilogr. Zink, wenn es ſich in verdünnter Schwefelſäure löſt, um ſchwefelſaures Zink zu bilden, immer 560 Wärmeeinheiten frei macht. Mißt man nun die Wärme, welche in dem ganzen, von der galvaniſchen Kette und dem Leitungsdraht gebildeten Kreiſe entwickelt wird, ſo findet man wieder 560 Einheiten für jedes verbrauchte Kilogramm Zink. Wenn z. B. die Säule nur die Hälfte, ein Drittel, ein Viertel dieſer Zahl angiebt, ſo enthält der Leitungsdraht die andere Hälfte, zwei Drittel, drei Viertel, ſo daß die Summe immer die Zahl 560 giebt. Nur die Art der Vertheilung kann je nach der Länge,

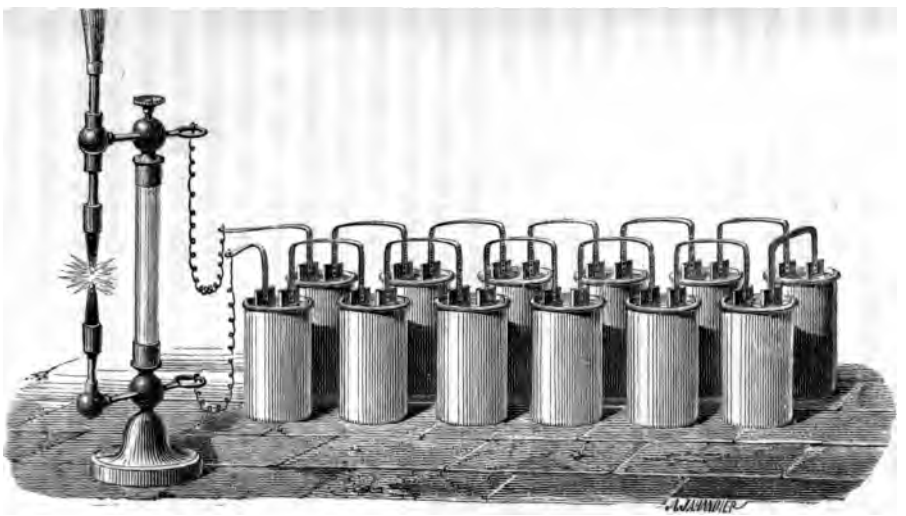


Fig. 21. Elektrisches Licht.

Dicke und Natur des Drahtes wechseln. Es ist also klar, daß die in dem galvanischen Strom entwickelte Wärme chemischen Ursprungs ist. Durch chemische Wirkung wird sie erzeugt; die Elektricität ist nur die Kraft, welche die Vertheilung ordnet.

Vereinigt man mehrere, den vorhergehenden ähnliche Elemente, in der Weise, daß man den Zink in jedem Element mit dem Kupfer des folgenden in Verbindung setzt, so hat man eine Batterie, und der Verbrauch des Zinkes wird bedeutend vermehrt. (Fig. 21.) Befestigt man an der letzten Zinkplatte einen Draht, der zu einer Kohlenspitze führt, und an der letzten Kupferplatte einen zweiten Draht, der ebenfalls zu einer Kohlenspitze führt, so kann man zwischen diesen Kohlenspitzen ein lebhaftes Licht unterhalten, welches galvanischer Bogen heißt und dessen Temperatur die höchste ist, die man kennt. Mit einer Säule von 600 Elementen hat Despretz in einigen Minuten 250 Gr. Platin geschmolzen. Nach diesem Princip sind heutzutage auch Einrichtungen zur Beleuchtung getroffen und man sieht diese häufig bei Volksfesten angewandt. Nur zieht man es jetzt vor, den elektrischen Strom durch eine sogenannte magneto-elektrische Maschine hervorzubringen. Hier drehen sich Eisenkerne, die mit Kupferdraht umwickelt sind, vor starken Hufeisenmagneten; im Augenblick, wo die Drahtrollen vor den Polen vorbeipassiren, werden sie von einem galvanischen Strom durchlaufen, den man ganz wie den Strom der Batterie benutzen kann. Die größeren Apparate dieser Art werden durch Dampfmaschinen in Bewegung gesetzt. Das Feuer erzeugt hier Dampf, die Arbeit des Dampfes erzeugt Elektricität, die Elektricität wird hinwiederum Wärme und Licht; so wird also, durch eine Reihe von Verwandlungen,

die Wärme der Feuerung in zwei Kohlenſpitzen concentrirt und zu blendendem Licht geſteigert.

8. Thieriſche und Pflanzen-Wärme.

Der Lebensprozeß bei Thieren und Pflanzen iſt ebenfalls eine wichtige Wärmequelle. Wir haben ſchon im 1. Kapitel geſagt, daß die Thiere einen Theil ihrer Eigenwärme verbrauchen, wenn ſie einen Widerſtand beſeitigen, wenn ihre Muskeln mechaniſche Arbeit ausführen. Wir haben auch geſehen, wie dieſe Ausgabe an Wärme durch die Nahrung und durch das Athmen erſetzt wird. Die Umwandlungen, welche dieſe in den Körper eingeführten Stoffe erleiden, werden in der Naturgeſchichte unter dem Namen Ernährungsprozeſſe behandelt. Die Verdauung bringt Nahrungsmittel ins Blut, welche aus Kohlen-, Waſſer- und Stickſtoff beſtehen, nur leicht unter einander verbunden; das Athmen führt in dasſelbe Blut Sauerſtoff ein, und nun geht eine langſame Verbrennung vor ſich, die Wärme erzeugt, indem Kohlenſtoff und Waſſerſtoff mit dem Sauerſtoff einerſeits Kohlenſäure, andrerſeits Waſſer bilden. Was den Stickſtoff anbetrifft, ſo bleibt er in den Geweben, um ſie auszudehnen und zu conſerviren. Man ſieht alſo, daß die thieriſche Wärme von einer chemiſchen Reaction herrührt.

Bei den Vegetabilien offenbart ſich das Leben in einer ganz andern Weiſe. Unter dem Einfluß der Sonnenſtrahlen zerſetzen ihre Organe Waſſer und Kohlenſäure; der Kohlen- und Waſſerſtoff formen in den Geweben der Pflanzen jene Subſtanzen, welche die Thiere als Nahrungsmittel aufſuchen. Wir müſſen annehmen, daß dieſe Zerſetzung Wärme verbraucht, und daß dieſe Wärme direct von der Sonne kommt.

So bereitet die Sonne unſere Nahrung in der Pflanze.

ir ſind, ſagt Tyndall, nicht in einem poetiſchen, ſondern einem mechaniſchen Sinne Kinder der Sonne.“ Die riſche Wärme rührt in letzter Inſtanz von der Sonnenme her.

Sollen wir hiernach ſchließen, daß die Thiere allein unter

Fig. 22. Aronblüthe.

den lebenden Weſen Wärme hervorbringen können und daß die Vegetabilien deren immer verbrauchen? Nein. Die Zerſetzung der Kohlenſäure und des Waſſers ſind nicht die einzigen Lebenserſcheinungen bei den Pflanzen. In einem jungen Stamm, in Wurzeln, Knospen, Blumen, Früchten finden chemiſche Verbindungen ſtatt, welche die Entwickelung der Organe zur Folge haben; dieſe Verbindungen ſind nicht ſehr energiſch, trotzdem aber von einer leichten Wärmeentwickelung begleitet. Die Blume des gewöhnlichen Arons (Fig. 22) erreicht in der Blüthezeit eine Temperatur, die 7 Grad höher iſt als die der Luft. Auf Ile-de-France zeigt der herzblättrige Aron einen Temperaturüberſchuß von 30 Graden. Ein gewöhnliches Thermometer, in die Mitte der Blume geſtellt, genügt, dieſe merkwürdige Thatſache zu conſtatiren. In den meiſten Fällen, wo die Wirkungen nicht ſo auffallend ſind, iſt man genöthigt, feinere, der thermoelektriſchen Säule ähnliche Inſtrumente anzuwenden.

Viertes Kapitel.

Wärmeſtrahlung.

1. Die Reflexion der Wärmeſtrahlen. Die Brennſpiegel.

Befinden ſich zwei Körper verſchiedener Temperatur in einem ganz leeren Raum, ſo giebt der wärmere dem anderen einen Theil ſeiner Wärme ab und dieſer Uebergang findet in geraden Linien ſtatt, die man von einem Körper zum andern ziehen kann. Eine eigenthümliche Bewegung, die unſeren Blicken entgeht, iſt von dem wärmeren Körper dem kälteren mitgetheilt; man nennt die Richtungen, in welchen die Uebertragung geſchieht: Strahlen, und Strahlung dieſe Art von Wärmeverbreitung, welche die größte Aehnlichkeit mit der Verbreitung des Lichts und der Flüſſigkeitswellen hat. Um alle Umſtände dieſer Erſcheinung zu erklären, hat man den Aether erſonnen, ein elaſtiſches Fluidum, das den Weltraum erfüllt und in dem ſich die Wärmewellen ebenſo wie die Lichtwellen ausbreiten. Dieſe Hypotheſe erleichtert die Anſchauung ungemein.

Wenn die Wärmeſtrahlen auf eine große, concav geſchliffene Fläche fallen, ſo findet man vor dieſer Fläche einen Punkt, wo die Wärme ſich am ſtärkſten concentrirt. Setzt man die Fläche der Sonne aus, ſo kann man mit einem

Papierblättchen den Punkt finden, wo ihr Licht ſich ebenfalls concentrirt. Es iſt derſelbe Punkt, wo die Wärme am ſtärkſten iſt, und zwar ſo ſtark, daß ſie das Papier verbrennen kann. Eine derart geſchliffene Fläche nennt man einen Brennſpiegel, die Stelle, an welcher ſich die Strahlen ſammeln, den Focus (Herd) oder Brennpunkt. Die Erſcheinung, welche ſich am Spiegel zeigt und die Bildung eines Focus zur Folge hat, heißt die Reflexion oder Rückſtrahlung der Wärme. Die Figur 23 ſtellt einen großen Brennſpiegel dar, deſſen Einfaſſung drei Metallſtangen trägt,

Fig. 23.

welche im Focus einen Stützpunkt für die brennbaren Stoffe bilden, die man der Wirkung der reflectirten Strahlen aussetzen will.

Der Gebrauch der Hohlspiegel war den Alten wohlbekannt. Euklid und Plinius sprechen davon. Plutarch führt im Leben des Numa an, daß die Vestalen sich einer Art von Brennspiegel zum Anzünden des heiligen Feuers bedienten. Archimedes soll mit Hilfe von solchen Spiegeln die römische Flotte vor Syrakus in Brand gesteckt haben, wie Zonaras und Tzetzes berichten. „Archimedes, heißt es bei Zonaras, fing die Sonnenstrahlen mit einem Spiegel auf, und bediente sich der durch die Dicke und Politur des Spiegels concentrirten und reflectirten Strahlen, um die Luft zu entzünden und eine große Flamme zu erzeugen, die er auf die Schiffe schleuderte, welche in seinem Bereich vor Anker lagen." Vielleicht handelt es sich hier blos um Brennstoffe, die in Brand gesteckt und alsdann auf die Schiffe geworfen wurden. Jedoch kann man sich auch denken, daß die hölzernen Schiffswände direct angezündet wurden, wie dies mit großen Hohlspiegeln wohl möglich ist. Tschirnhausen construirte um 1687 einen kupfernen Brennspiegel von fast 6 Fuß Durchmesser, dessen Focus mehr als 6 Fuß vor der Oberfläche des Spiegels lag; man konnte damit Silber und Kupfer schmelzen, Dachziegel verglasen, u. dgl. m. Noch stärker war der Hohlspiegel von Glas, mit Zinnfolie belegt, den Bernières i. J. 1757 für Ludwig XV. construirte. Mariotte entzündete Pulver mit einem Hohlspiegel aus Eis.

Berühmt sind auch die Versuche von Buffon mit einem Apparat, der aus 168 ebenen Glasspiegeln von 6 Zoll Höhe und 8 Zoll Breite bestand, die alle mit Charnieren an einem Rahmen befestigt waren, so daß sie zusammen eine ziemlich

regelmäßige Kugelfläche bildeten. Man konnte ſie ſo ſtellen, daß alle oder ein Theil das Sonnenbild nach demſelben Punkte warfen, und dadurch in Entfernungen von 20 bis 150 Fuß große Hitze erregten. So zündete Buffon mit 40 Spiegeln auf 50 Fuß ein getheertes buchenes Brett an; mit 128 Spiegeln auf 158 Fuß getheertes Tannenholz; mit 117 Gläſern ſchmolz er Silber, u. ſ. w. Vielleicht bediente ſich Archimedes auch ſolcher ebenen Spiegel.

Wir werden nun ſehen, daß die Geſetze, nach denen die Wärme ſich reflectirt, dieſelben ſind, nach welchen die Reflexion des Lichtes und des Schalles ſtattfindet.

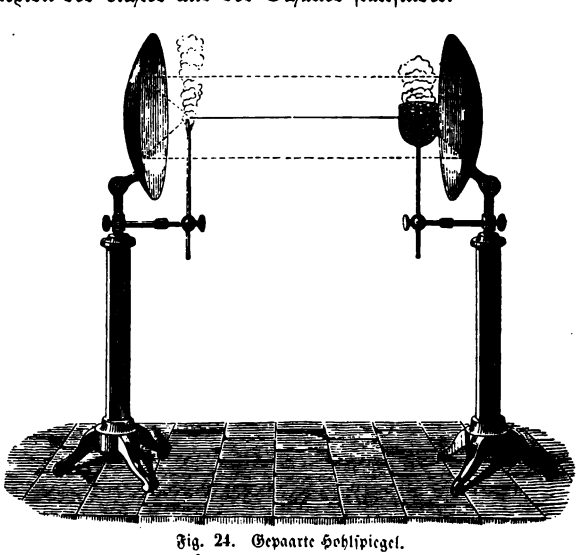


Fig. 24. Gepaarte Hohlſpiegel.

Nehmen wir zwei ganz gleiche kupferne Hohlſpiegel, deren Oberflächen Theile von Kugelflächen ſind. Man nennt Axe des Spiegels die gerade Linie, welche durch das Centrum der

ugel und die Mitte der Spiegelfläche geht. Stellen wir nun ie beiden Spiegel einander so gegenüber, daß ihre Axen usammenfallen (Fig. 24). Legen wir darauf glühende Koh- en in einen Drahtkorb, welchen wir in den Focus des einen Spiegels bringen (der Focus befindet sich in der Mitte zwi- schen dem Centrum der Kugel und der Mitte des Spiegels). Wird der Versuch in der Dunkelheit angestellt, so findet man leicht den Focus des zweiten Spiegels mit Hilfe eines Papier- blatts, auf welchem ein Lichtpunkt erscheint, sobald es sich in dem fraglichen Brennpunkt befindet. Welchen Weg haben nun die Lichtstrahlen genommen? Ein von den glühenden Kohlen ausgegangener Strahl fällt auf den ersten Spiegel, wird in paralleler Linie zur Axe zurückgeworfen, und trifft so nothwendigerweise den zweiten Spiegel, wird hier noch ein Mal zurückgeworfen und passirt den Brennpunkt. Alle Lichtstrahlen, welche der erste Spiegel erhält, begegnen sich gleichermaßen in dem Brennpunkt des zweiten. Daher kommt die Concentration des Lichtes. Wenn diese Schlußfolgerung richtig ist, so müßte man die Spiegel von einander entfernen können, ohne daß die Wirkung ändert, und das ist in der That der Fall.

Bringen wir jetzt auf den Lichtpunkt Pulver und Zünd- schwamm, nachdem wir vorher einen hölzernen Schirm zwi- schen die beiden Spiegel gestellt, um die Strahlen aufzuhalten. Sobald wir den Schirm entfernen, werden die zündbaren Stoffe in Brand gerathen, was auf schlagende Weise dar- thut, daß der Brennpunkt mit dem Lichtpunkt übereintrifft. Es nehmen also die Wärmestrahlen denselben Weg als die Lichtstrahlen.

Entfernen wir die Kohlen und legen eine Uhr an ihre Stelle. Wir können, wenn wir in der Nähe des zweiten

aus dem Drama: „Die Wolken“ von Ariſtophanes beweiſt, den wir in der Voſſiſchen Uebertragung herſetzen.

Strepſ. Du haſt bei den Heilkrauthändlern doch wohl jenen Stein
Ehmals geſehn, den ſchönen, den durchſichtigen,
Womit ſie Feuer zünden.

Sokr. Meinſt Du den Brennkryſtall?

Strepſ. Den mein' ich..... Ja, nähm' ich den,
Indeß der Schreiber jene Klag' anfertigte,
Abwärts mich ſtellend, alſo nach der Sonne hin,
Jedweden Buchſtab ſchmelzt' ich hinweg aus der Klagſchrift*).

Vom Brennen mittelſt gläſerner und kryſtallener Kugeln iſt auch bei Plinius und Lactantius die Rede. Tſchirnhauſen verfertigte mehrere Linſengläſer von beinahe 3 Fuß Durchmeſſer, und 7 bis 12 Fuß Brennweite; er hat damit angeblicherweiſe Gold ſchmelzen können. Eines ſeiner Gläſer, von 2 Fuß Durchmeſſer und 6 Fuß Brennweite befindet ſich vermuthlich noch auf der Rathsbibliothek zu Görlitz. Im Jahre 1763 experimentirte man in England mit einer Eislinſe von 9 Fuß Durchmeſſer, welche, der Sonne ausgeſetzt, in ihrem Focus Pulver entzündete. Buffon verſchaffte ſich eine flüſſige Linſe, indem er zwei, wie Uhrgläſer gewölbte Glasſcheiben mit ihren Rändern verband, ſo daß ſie eine Art linſenförmigen Trog bildeten, der mit einer Flüſſigkeit gefüllt wurde. Sehr kräftige Wirkungen wurden im Jahre 1774 von Bernières und Trudaine mit einer ſolchen Linſe erzielt, die über 3 Fuß im Durchmeſſer hatte und mit Alkohol gefüllt war.

Figur 25 b zeigt den Apparat, mit welchem experimentirt wurde, nach einer in den »Oeuvres de Lavoisier (t. 3.)«

*) Auf Wachstafeln geſchrieben.

die Glasscheiben hindurch erwärmen; wir schließen daraus, daß das Glas die Sonnenwärme durchläßt. Nehmen wir eine „biconvexe" Linse von weißem Glas und halten sie in die Sonne. Wir werden leicht mit Hilfe eines Kartenblatts

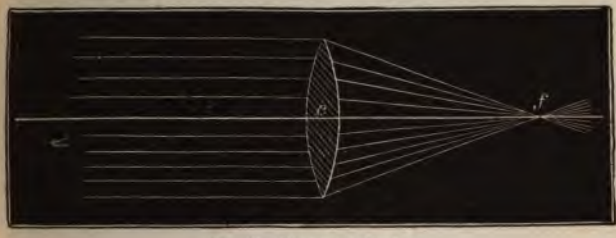
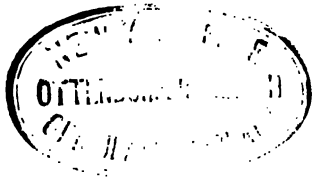


Fig. 25. Biconvexes Glas.

einen Lichtpunkt auf der Seite der Linse, wo die Strahlen austreten, ausfindig machen; dies ist der Focus oder Lichtherd. Dieser Versuch zeigt uns, daß ein Lichtstrahl, wenn er das Linsenglas durchdringt, von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt wird, wir sagen, er bricht sich, und nennen diese Aenderung der Richtung: Refraction, oder Strahlenbrechung. Die Wärme nun ist ebenfalls auf derselben Stelle concentrirt, denn das Papier fängt hier Feuer. Wenn wir die Kugel eines Thermometers an diesen Punkt halten, so steigt das Quecksilber sehr schnell in der Röhre, was eine starke Erwärmung beweist; befindet die Kugel sich nicht genau an diesem Punkte, so steigt das Quecksilber kaum um einige Grade. Die Wärmestrahlen werden also ebenfalls gebrochen, sie nehmen denselben Weg als die Lichtstrahlen. Wieder ein neues Resultat, das uns die Analogie zwischen Wärme und Licht beweist.

Die Eigenschaft der Brenngläser war auch schon den alten Griechen und Römern bekannt, wie folgender Dialog



ffentlichten Zeichnung. Mit Hilfe eines ſinnreichen Me-
ismus konnte ein einziger Menſch die Linſe dirigiren
der Sonne derart folgen, daß der Brennpunkt immer
derſelben Stelle unterhalten wurde. Ehe die Strahlen,
he aus der großen Linſe kamen, ſich im Brennpunkt
zten, paſſirten ſie ein zweites, kleineres Linſenglas; da-
h wurden die Sonnenſtrahlen in einen engeren Raum
mmengedrängt und der Brennpunkt bedeutend wirkſamer.
gelang hier ſehr leicht das Eiſen zu ſchmelzen, und ſelbſt
tin zeigte Spuren von Schmelzung.

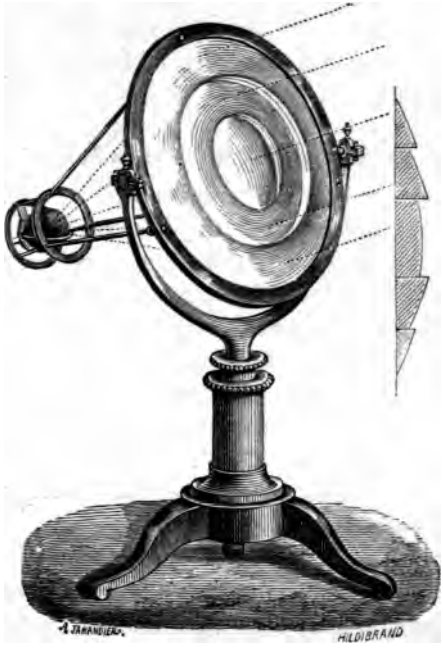


Fig. 26. Zonenlinſe.

Wenn man ſehr große Brenngläſer haben will, wie ſie zur Lichtverſtärkung der Leuchtthürme angewandt werden, ſo conſtruirt man ſie aus einer, den Mittelpunkt bildenden Linſe und mehreren concentriſchen Zonen oder Ringen, welche aus einzelnen Stücken zuſammengekittet werden. Eine der Seiten iſt platt, die andere zeigt Abſtufungen, deren jede von einer der ringförmigen Linſen gebildet wird, wie Figur 26 zeigt, und die ſo berechnet ſind, daß alle Sonnenſtrahlen ſich in demſelben Punkte ſammeln. Man nennt dieſe Gläſer: Zonenlinſen. Ihr Vorzug beſteht darin, daß ſie vermöge ihrer geringen Dicke nicht ſo viele Wärme oder Licht abſorbiren, als die Linſen aus einem Glasſtück. Buffon war der Erſte, welcher auf dieſe Idee kam, aber die wirkliche Ausführung verdankt man Fresnel.

3. Identität von Licht und Wärme. — Das Sonnenſpectrum.

Lange Zeit hindurch kannte man nur die Aehnlichkeit der Wärme- und Lichtſtrahlen; neuere Arbeiten haben zu der Annahme ihrer Identität geführt. Jetzt glaubt man allgemein, daß Wärme- wie Lichtquellen nur eine Art von Pulſation durch den Aether ſenden, und daß dieſe Pulſationen in der Geſchwindigkeit ihrer Aufeinanderfolge differiren können, ebenſo wie die hohen Töne ſich von den tiefen durch größere Schnelligkeit der Schwingungen unterſcheiden. Ein Strahl, welcher eine Reihe ſehr ſchnell auf einander folgender Vibrationen durch den Aether fortpflanzt, wirkt beſonders auf unſer Auge und macht hier den Eindruck von Licht, weil der Sehnerv dafür organiſirt iſt; ein Strahl dagegen, welcher eine Reihe weit von einander entfernter Pulſationen fortpflanzt, macht auf unſer Auge keinen Eindruck, während er unſere Hautnerven afficirt und ihnen die Empfindung von

rme verurſacht. Es giebt indeß keinen wirklichen Unter-
d zwiſchen dem einen und anderen in Bezug auf die Be-
ung, welche ſie repräſentiren; mechaniſch ſind ſie von
her Art, ſie unterſcheiden ſich allein durch ihre Beziehung
unſeren Sinnen.

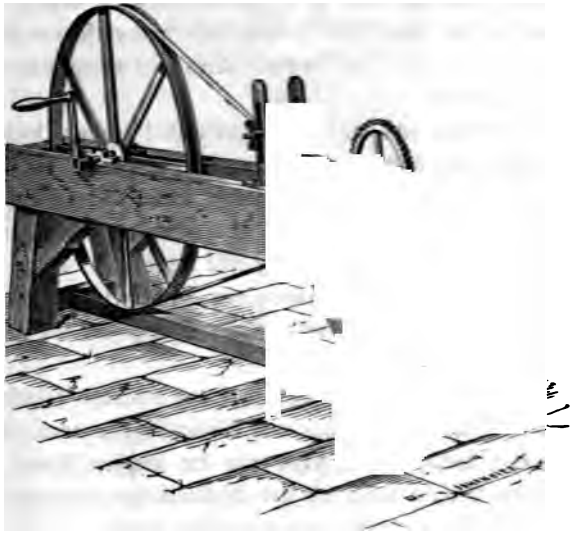


Fig. 27. Akuſtiſches Zahnrad.

Nehmen wir ein kupfernes Rad, deſſen Rand in 34
che Theile ausgezackt iſt, und laſſen es um ſeine Axe
jen. (Fig. 27.) Halten wir dabei eine Karte gegen den
id, ſo vernehmen wir jedesmal, wenn die Karte einen
n berührt, ein deutliches Geräuſch. Laſſen wir es immer
eller drehen; die Stöße folgen ſchneller auf einander und
gt entſteht ein ununterbrochener Ton, der ſtufenweiſe
er wird. Man kann die Umſchwingungen zählen, die das

Rad in einer Secunde macht; wir wollen einmal annehmen, es wären deren zehn, das giebt in einer Secunde 340 Stöße und ebenſo viel Pulſationen, die durch die Luft an unſer Ohr gelangen. Dieſe Pulſationen folgen einander in Zwiſchenräumen von einem Meter und der Zwiſchenzeit von $\frac{1}{340}$ſtel Secunde, ſo daß, wenn die 340ſte von der Karte abgeht, die erſte bei dem 340 Meter (1020 Fuß) weit entfernten Körper anlangt. Der Ton, den wir hören, iſt nahezu das tiefe E der Violine.

Laſſen wir jetzt das Rad ſich zehn Mal ſchneller drehen, ſo haben wir 3400 Pulſationen in der Secunde; die Entfernung zweier auf einander folgender Pulſationen im Schallſtrahl beträgt einen Decimeter, und wenn die 3400ſte von der Karte abgeht, ſo erreicht die erſte die Körper, welche ſich wie vorhin in einer Entfernung von 340 Metern befinden. Der Ton, den wir jetzt vernehmen, iſt ungefähr das A der dritten höhern Octave (a'''').

Die Entfernung zwiſchen zwei auf einander folgenden Pulſationen oder Tonwellen wird Wellenlänge genannt. Die kürzeſten Wellenlängen geben alſo die höchſten Töne; in unſerem Beiſpiel haben wir zwei Wellenlängen, die eine von einem Meter, die andere von einem Decimeter.

Bringen wir jetzt auf dieſelbe Axe zwei Räder mit 34 und 340 Zähnen (Fig. 28) und bewerkſtelligen zehn Umdrehungen in der Secunde; wenn wir die Räder abwechſelnd mit der Karte berühren, ſo rufen wir einen um den andern der beiden vorher genannten Töne hervor und Jemand, der ſich von dem Apparat entfernt, hört ſie immer in denſelben Zeitintervallen. Das können wir auch jederzeit conſtatiren, wenn wir ein Muſikſtück aus der Entfernung anhören: wie weit wir uns auch entfernen mögen, die Töne erreichen unſer

Ohr in derſelben Ordnung, mit unveränderter Höhe; nur ihre Stärke nimmt ab, aber es bleibt immer dieſelbe Melodie.

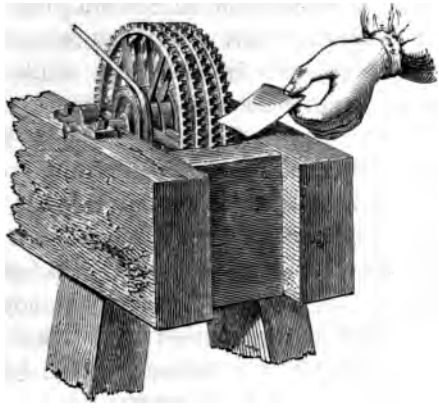


Fig. 28. Zahnräder.

Wir ſchließen hieraus, daß die hohen und die tiefen Töne ſich mit derſelben Geſchwindigkeit fortpflanzen. Die Geſchwindigkeit des Schalls beträgt in der Luft 340 Meter (1020 Fuß) auf die Secunde; im Waſſer, im Holz, im Eiſen iſt ſie weit größer.

Ganz ebenſo verhält es ſich nun mit den Licht- und Wärmewellen, die ſich im Aether fortpflanzen, wie der Schall in der Luft; nur ſind die Zahlen andere. Die verſchiedenen Licht- und Wärmeſtrahlen beſtehen aus Wellen von ſehr verſchiedener Länge, die ſich aber alle mit derſelben Geſchwindigkeit fortpflanzen: ſie durchlaufen wohl 300,000 Kilometer (40,000 Meilen) in der Secunde. Was die Wellenlänge betrifft, ſo gehen auf einen Millimeter (½ Linie) ungefähr 1600 Wellen *des rothen Lichts*, oder 2300 des violetten,

587321

woraus folgt, daß die rothen Strahlen 500, die violetten 700 Billionen Schwingungen in einer Secunde machen.

Das Licht, welches von der Sonne ausgeht, läßt sich auf folgende Weise in verschiedenfarbige Strahlen zerlegen.

In die Fensterladen eines verdunkelten Zimmers macht man eine Oeffnung und stellt außerhalb derselben einen Spiegel so auf, daß die Sonnenstrahlen durch Reflexion ins Zimmer geleitet werden. (Fig. 29.) *) In der Richtung der Strahlen befestigt man ein Stück Steinsalz von der Form eines dreikantigen Prismas so, daß die Strahlen nur auf eine der drei Flächen fallen können. Während sie nun durch das Prisma gehen, werden sie von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt, d. h. gebrochen. Man fängt die gebrochenen Strahlen mit einem weißen Papierschirm auf, und es erscheint darauf ein schönes Bild, ein leuchtender Streif, von sieben herrlichen Farben, in folgender Ordnung:

Violett, Purpur, Blau, Grün, Gelb, Orange, Roth.

Die Reihenfolge der Farben beweist eine Ablenkung der Strahlen, die von Violett bis Roth allmählich abnimmt.

Newton, der dieses wundervolle Experiment zuerst ausführte, hat dieser Erscheinung den Namen Sonnenspectrum gegeben. Man beobachtet sie gewöhnlich mit einem Glasprisma, doch haben wir hier Steinsalz gewählt mit Rücksicht auf die Wärmestrahlen, denen unsere Betrachtung hauptsächlich gilt. Stellen wir nun ein sehr empfindliches Thermometer der Reihe nach in die Mitte von jeder der sieben Farben unseres Spectrums und lassen es eine Weile darin stehen. Vom Violett an beginnt es sich zu erwärmen, aber in verschiedenem Grade: je mehr es sich dem Roth

*) Siehe das Titelblatt.

nähert, deſto höher ſteigt es. Laſſen wir das Thermometer jetzt das Roth paſſiren und entfernen es allmählich in der Richtung des leuchtenden Streifs bis in die dunkle Region, ſo ſehen wir, daß hier die Wärme viel ſtärker iſt als vorhin; an einem Punkte, etwas über das Roth hinaus, befindet ſich ihr Maximum und von da an nimmt ſie wieder ab, bleibt aber noch in einer großen Entfernung wahrnehmbar. Es giebt alſo unter den Sonnenſtrahlen ſolche, die blos Wärme erzeugen, und durch das Prisma weniger als die ſichtbaren Lichtſtrahlen abgelenkt werden. Wir ſehen ferner, daß die Lichtſtrahlen, welche verſchiedenen Farben entſprechen, auch in verſchiedenem Grade gebrochen werden; die violetten am ſtärkſten, die rothen am ſchwächſten. Alle ſichtbaren Strahlen erzeugen auch Wärme, aber die dunkeln Strahlen jenſeits des Roths ſind die wärmſten.

Wenn wir jetzt noch die Strahlen jeder einzelnen Gruppe durch ein Loch in einem Lichtſchirm auf ein zweites Prisma fallen laſſen, wie die Figur 30 des Titelblatts zeigt, ſo finden wir, daß ſie zwar gebrochen werden, ſonſt aber keine Aenderung erleiden.

Man ſagt, die durch das erſte Prisma gegangenen Strahlen ſind *einfache*; die Sonnenſtrahlen beſtehen aus der Miſchung dieſer einfachen Strahlen, die ſich wieder von einander trennen, während ſie das Prisma paſſiren. Die verſchiedenen einfachen Strahlen unterſcheiden ſich, wenn ſie alle in derſelben Weiſe auf das gleiche Prisma fallen, durch den Grad der Ablenkung, die ſie erleiden. Von den am ſtärkſten abgelenkten ſagt man: ſie ſind brechbarer als die übrigen. Die Brechbarkeit nimmt vom Violett bis zum Roth beſtändig ab, und noch weiter unter den dunkeln Wärmeſtrahlen, jenſeits des Roths. *Ueber das Violett* hinaus wächſt ſie dagegen;

hier liegen noch dunkele Strahlen, die blos chemiſche Wirkungen hervorbringen.

Sehr ſorgfältige Experimente haben bewieſen, daß, wenn man einen einfachen Lichtſtrahl Operationen unterwirft, die ſein Licht verändern, er ſtets eine wärmeerzeugende Kraft bewahrt, die genau dieſelben Veränderungen erleidet. Man hat alſo keine Urſache, anzunehmen, daß jeder Lichtſtrahl von einem anderen, beſonderen Wärmeſtrahl begleitet iſt, man darf vielmehr ſagen, daß derſelbe Strahl zwei verſchiedene Wirkungen hervorbringen kann: Wärme und Licht, und daß zwiſchen Beiden nur in Bezug auf unſere Sinne ein Unterſchied beſteht.

Nun bleibt uns noch zu unterſuchen, wie die Wellentheorie mit der Trennung der einzelnen Strahlen, deren Geſammtheit den Sonnenſtrahl bildet, zuſammenhängt. Wir dürfen unſere Aufmerkſamkeit nur auf die Fläche des Prismas richten, durch welche die Sonnenſtrahlen eintreten, denn die Austrittsfläche bringt dieſelbe Wirkung hervor. Die Trennung beginnt an der erſteren und wird einfach an der zweiten fortgeſetzt.

Betrachten wir einen violetten und einen rothen Lichtſtrahl, die zuſammen auf dem Prisma anlangen. Die Wellen des erſteren ſind kürzer als die des zweiten, werden noch kürzer während ſie durch das Prisma gehen und pflanzen ſich hier mit weit geringerer Geſchwindigkeit fort als in der Luft. Man kann mathematiſch beweiſen, daß die Verkürzung der Wellen die Brechung der Strahlen nach ſich zieht und daß ſie dieſelben von der Eintrittsfläche ablenkt. Außerdem pflanzen die rothen Lichtwellen ſich in der Subſtanz des Prismas ſchneller fort als die violetten, und werden deshalb weniger abgelenkt; deshalb trennen ſich die Strahlen nach der Ordnung ihrer verſchiedenen Brechbarkeit.

Man wird bemerken, daß nach dieſer Auseinanderſetzung die verſchiedenen Wellen ſich in derſelben durchſichtigen Subſtanz nicht mit gleicher Geſchwindigkeit fortpflanzen, was ſcheinbar mit dem früher Geſagten nicht übereinſtimmt. Aber man darf nicht vergeſſen, daß eine gleiche Schnelligkeit nur in dem Aether des leeren Raumes möglich iſt; in den Körpern beſteht die Wirkung der materiellen Theilchen darin, daß ſie die Licht- und Wärmewellen um ſo mehr aufhalten, je kürzer dieſe ſind.

4. Die Sichtung der Strahlen.

Wir haben zu unſerer Beobachtung ein Prisma von Steinſalz genommen. Hätten wir ſtatt deſſen ein Glasprisma benutzt, ſo wäre uns daſſelbe Sonnenſpectrum erſchienen wie vorhin, aber wir hätten keine dunklen Wärmeſtrahlen herausgefunden. Hieraus ſchließen wir, daß das Glas die dunkeln Strahlen, die von der Sonne anlangen, abſorbirt und nur die hellen allein fortpflanzt. Nehmen wir aber ein gefärbtes Prisma, z. B. ein rothes, ſo werden nicht nur alle dunkeln Strahlen abſorbirt, ſondern auch eine Partie der leuchtenden wird nicht durchgelaſſen: das Spectrum iſt unvollſtändig; die rothe Farbe zeigt ſich deutlich, aber Blau und Violett fehlen ganz; gewöhnlich ſind auch alle übrigen, außer der rothen Farbe, ſehr matt. Demnach paſſiren die rothen Strahlen allein ohne Abſorption, die andern werden theilweiſe oder vollſtändig abſorbirt. Man kann auch gewiſſe Arten von rothem Glas finden, die nur dieſe eine Farbe durchlaſſen. Man ſagt, das Roth dieſes Glaſes iſt einfach, während das des vorigen ein zuſammengeſetztes iſt.

Es iſt jetzt leicht, ſich eine Vorſtellung zu machen von der großen Mannigfaltigkeit der Reſultate des Durchgangs durch

transparente Körper. Man darf ſich nur an Stelle
Sonnenſtrahlen Körner von allen Größen denken, und
Stelle der transparenten Medien Siebe mit Löchern von al
möglichen Dimenſionen.

Ein erſtes Sieb hat Löcher, die größer ſind, als die K
ner, und alle gehen leicht hindurch. Ebenſo läßt das Ste
ſalz ſich von Strahlen aller Gattungen durchdringen.

Ein anderes Sieb hat kleinere Löcher; die großen Kör
bleiben darin zurück. So fängt das Glas die dunklen Str
len auf.

Sind die Löcher noch kleiner, ſo werden auch Körn
welche vorher paſſirten, aufgehalten. So abſorbirt das f
bige Glas alle dunkeln und auch gewiſſe helle Strahlen.

Setzen wir unter dieſes Sieb ein ganz gleiches. D
Körner, die das erſte durchgelaſſen, fallen auch durch d
zweite. So verhält es ſich mit der Fortpflanzung der Sonn
ſtrahlen durch zwei transparente Platten derſelben Art. D
Wärme, welche auf die zweite fällt, geht ganz durch, w
ſie durch die erſte „geſiebt" worden iſt. Z. B., die Sonn
ſtrahlen begegnen einer Glasſcheibe. Die helle Wärme all
wird durchgelaſſen; fällt ſie nun auf eine zweite Glasſchei
ſo geht ſie vollſtändig durch; es hat den Anſchein, als ob d
Glas im zweiten Fall keine Wärme abſorbirt, im erſten d
gegen ſehr viel; das kommt daher, daß die Strahlen, wel
auf beiden Gläſern anlangen, nicht derſelben Art ſind. D
Reſultat hängt alſo gleichzeitig von dem Medium und d
der Natur der Strahlen ab.

Denken wir uns noch einmal zwei Siebe, das eine
recht großen Löchern, das andere mit ſolchen, die kleiner,
die Körner ſind. Alles, was durch das erſte Sieb gefal
iſt, wird von dem zweiten vollſtändig aufgehalten. So kön

wir uns die Sonnenstrahlen vorstellen, die erst einem rothen, und darauf einem blauen Gase begegnen. Das erstere hat nur die rothen durchgelassen, das andere hält auch diese auf, so daß wir, wenn wir beide Gläser übereinander legen, aus zwei durchsichtigen Körpern einen undurchsichtigen gemacht haben.

Nach dem vorhergehenden Experiment, wo die Sonnenstrahlen durch das Prisma in die einfachen Farben zerlegt, das Sonnenspectrum gaben, könnte man fragen, warum denn unsere Fenstergläser nicht dieselbe Trennung bewirken, und warum das beim Eintritt weiße Licht auch weiß beim Austritt ist? Dies kommt daher, daß die Ein- und Austrittsflächen beide parallele Flächen sind, während sie bei dem Prisma einen gewissen Winkel bilden.

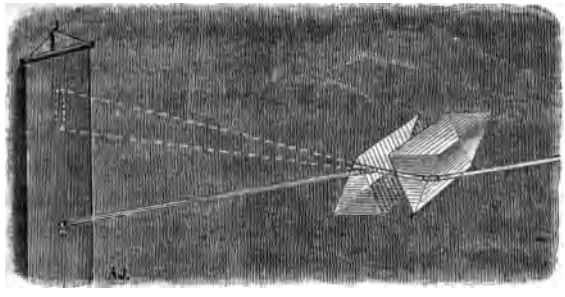


Fig. 31. Doppel-Prisma.

Bringen wir (Fig. 31) zwei Prismen von gleichem Glase zusammen, derart, daß sie eine Platte mit paralleler Oberfläche bilden, so gehen die Sonnenstrahlen ungetrennt hindurch, denn die Strahlen, welche im ersten Prisma eine Trennung erlitten, werden durch das zweite im entgegen-

geſetzten Sinne abgelenkt, ſammeln ſich von Neuem, und bilden bei ihrem Austritt wieder den urſprünglichen Strahl.

Faſſen wir nun kurz zuſammen, was wir über die Strahlung der Wärme wiſſen.

Die Sonnenſtrahlen ſind aus einer unendlichen Menge einfacher Strahlen zuſammengeſetzt, die ſich durch ihre verſchiedene Brechbarkeit, oder durch ihre Wellenlänge von einander unterſcheiden. Wenn ſie auf einen Körper fallen, ſo wird ein Theil zurückgeworfen, ein anderer Theil durchgelaſſen. Der Reſt wird abſorbirt und dient zur Erwärmung des Körpers.

5. Einfluß der Temperatur auf die Ausſtrömung der Wärme.

Wir unterſcheiden die von einer Wärmequelle ausgeſandten Strahlen nach Quantität und Qualität. Beſchäftigen wir uns zunächſt mit der Quantität. Je höher die Temperatur der Quelle, deſto größer iſt die Wärmemenge, die ſie ausſtrahlt, vorausgeſetzt, daß die Temperatur des Körpers, zu dem ſie geſandt wird, beſtändig und zugleich niedriger als diejenige der Quelle iſt. Wenn im Gegentheil ſeine Temperatur ſteigt, indem ſie jedoch immer niedriger als die der Quelle (welche nicht variirt) bleibt, ſo nimmt die Quantität der gegen den Körper geſtrahlten Wärme ab; ſie verſchwindet, ſobald beide dieſelbe Temperatur haben; ſie ändert ihre Richtung, wenn der Körper wärmer als die Quelle wird, d. h., wenn er ſeinerſeits Wärme ausſtrahlt, alſo ſelber als Quelle zu betrachten iſt. So ſendet die Sonne uns thatſächlich Wärme, weil ihre Temperatur höher, als die unſerer Erdkugel iſt; könnte aber die Erde eine höhere Temperatur, als die der Sonne erreichen, ſo würde ſie ihrerſeits dieſes Geſtirn mit Wärme verſorgen. Was alſo die Ausſtrömung

von Wärme bei einem Körper veranlaßt, iſt die Gegenwart eines anderen von niederer Temperatur. So hat man z. B. berechnet, daß die Himmelsräume eine Temperatur von 200 Graden unter Null haben; dieſen Räumen gegenüber iſt die Erde eine Wärmequelle; ſie ſtrahlt ununterbrochen Wärme gegen ſie aus. Kommt aber aus einer gewiſſen Richtung eine Wolke, die lange keine ſo niedrige Temperatur hat, ſo ſendet die Erde nach dieſer Richtung weniger Strahlen.

Dieſe Principien erklären verſchiedene Vorgänge, bei denen es den Anſchein hat, als ob Kälte ebenſo wie Wärme zurückgeſtrahlt würde.

Kehren wir wieder zu unſeren Hohlſpiegeln (Fig. 24) zurück, und legen an Stelle der glühenden Kohlen ein Stück Eis in den Roſt, welcher ſich in dem einen Brennpunkte befindet. In den andern Brennpunkt ſtellen wir ein Thermometer. Wir werden ſehen, daß Letzteres ſich abkühlt, während bei Entfernung der Spiegel keine Wirkung an ihm bemerkt werden kann. Dies geht nun ſo zu. Das Thermometer ſpielt dem Eiſe gegenüber die Rolle der Wärmequelle. Die Strahlen, die es (außer denen, welche direct ankommen und der großen Entfernung wegen unwirkſam ſind) dem Eiſe zuſendet, fallen zuerſt auf den benachbarten Spiegel, werden von hier nach dem entfernteren zurückgeworfen und von dieſem durch Rückſtrahlung auf das Eis geleitet. Da aber in dem Thermometer nichts den Wärmeverluſt erſetzt, ſo fällt ſeine Temperatur. Allerdings iſt jetzt die ganze Umgebung wärmer, als das Thermometer, und ſtrahlt demſelben deshalb eine gewiſſe Wärme zu; aber dieſer Erſatz iſt von geringer Bedeutung, das Thermometer bleibt daher ſtationär auf einer Temperatur, die ein wenig höher als diejenige des Eiſes iſt.

6. Einfluß der Natur der Quelle auf ihre Ausſtrahlung. – Wechſel-Beziehung zwiſchen Ausſtrahlung und Abſorption.

Es bleibt uns nun noch übrig, die Qualität der von einer Quelle ausgegebenen Strahlen zu betrachten. Zunächſt giebt es dunkle Wärmequellen, wie zum Beiſpiel eine auf 400 Grad erwärmte Metallplatte oder ein Gefäß voll ſiedenden Waſſers. Solche Quellen ſenden dunkle Strahlen aus, die das Steinſalz durchdringen, von Glas aber aufgehalten werden. Ferner giebt es leuchtende Quellen, welche dunkle und helle Strahlen zugleich ausſenden; letztere gehen durch Glas, während erſtere von demſelben aufgehalten werden. Die Miſchung der Strahlen hängt alſo von der Natur der Quelle ab. Bei Körpern, die als Wärmequellen dienen, iſt es beſonders die äußere Oberfläche, welche den Unterſchied der Ausſtrömung beſtimmt. Nehmen wir einen mit Waſſer gefüllten Kupferwürfel und bringen das Waſſer mit Hilfe einer darunter befindlichen Alkohollampe zum Sieden (Fig. 32). Die vier Seitenflächen des Würfels haben alle die Temperatur des ſiedenden Waſſers, ſie unterſcheiden ſich aber nach dem Zuſtande ihrer äußeren Oberfläche: die erſte iſt berußt; die zweite mit Bleiweiß bezogen; das Metall der dritten iſt rauh, das der vierten glatt polirt. Wenden wir dieſe vier Seiten des Würfels nach einander dem Thermometer zu, indem wir daſſelbe durch einen Schirm vor der directen Strahlung der

Fig. 32. Leslie's Verſuch.

Lampe schützen, so wird dasselbe von jeder der vier Flächen in verschiedenem Grade erwärmt, und zwar nimmt die Erwärmung ab, wenn wir die Flächen in der genannten Ordnung ihm zukehren. Der Ruß gestattet die stärkste Wärmeausströmung die Politur des Kupfers macht sie dagegen zu einer sehr schwachen. Die Verschiedenheit der Ausströmung kann man auch ohne physikalische Apparate jederzeit wahrnehmen, wenn man zum Beispiel einen gußeisernen Ofen mit rauher Oberfläche und einen anderen aus polirtem Eisen mit einander vergleicht; ersterer erwärmt die benachbarten Körper weit stärker als letzterer. Oder füllen wir mit siedendem Wasser zwei Kupfergefäße, von denen das eine gut polirt, das andere vom Rauch geschwärzt ist; wir werden bemerken, daß ersteres sich langsamer abkühlt, als letzteres, und schließen daraus, daß die Ausstrahlung durch die geschwärzte Oberfläche stärker ist, als durch die polirte.

Und umgekehrt, stellen wir dieselben beiden Gefäße mit kaltem Wasser gefüllt ans Feuer, so wird das geschwärzte sich eher erwärmen, als das andere. Wir schließen daraus, daß bei ersterem die Absorption der Wärme stärker ist, als bei dem zweiten, und gelangen so zu der Ansicht, daß die Körper, welche die meiste Wärme absorbiren, dieselbe auch am leichtesten ausströmen lassen. Diese wechselseitige Beziehung zwischen Absorption und Strahlung ist in der That durch zahlreiche Experimente festgestellt; sie besteht nicht nur hinsichtlich der Quantität, sondern auch in Rücksicht auf die Qualität der Wärme. Demnach giebt eine Substanz *dieselbe* Gruppe von Strahlen verschiedener Brechbarkeit aus, welche sie zu absorbiren fähig ist. Wir müssen nach unserer Theorie von der Identität der Licht- und Wärmestrahlen, annehmen, daß dasselbe Gesetz auch für die Ausstrahlung und

die Abſorption des Lichtes gilt; und ſo beſtätigen es auch wirklich die neueren Experimente, welche man über das Sonnenſpectrum angeſtellt hat.

Fig. 33.
Der galvaniſche Flammenbogen.

Bringt man z. B. etwas Natrium zwiſchen die Kohlenſpitzen des elektriſchen Lichts (Fig. 33), ſo wird der Natriumdampf zur Lichtquelle und giebt eine große Menge gelber Strahlen aus; läßt man dieſelben durch ein Prisma gehn, ſo erhält man ein Spectrum mit einer charakteriſtiſchen gelben Linie. Verdampft man aber das Natrium in einiger Entfernung von dem Kohlenlicht, und läßt nun die Strahlen des elektriſchen Lichts durch den Dampf hindurchgehn, ſo werden die gelben Strahlen von dem Natriumdampf *ausgelöſcht*, und es erſcheint an ihrer Stelle im Spectrum eine *ſchwarze* Linie, wie dies die Figur 34 des Titelblatts anſchaulich macht. Verſuche dieſer Art haben die Phyſiker zu einer Beobachtungsmethode geführt, welche beſonders von Kirchhoff und Bunſen ausgebildet worden iſt, und *Spectralanalyſe* genannt wird. Dieſelbe erlaubt, aus dem Spectrum einer Flamme auf die Natur der Subſtanzen zu ſchließen, welche der Verbrennung unterworfen ſind; oft erkennt man auch auf demſelben Wege die Natur der Dämpfe, durch welche die Strahlen der Flamme gegangen ſind. So haben Kirchhoff und Bunſen aus den ſchwarzen Linien des Sonnenſpectrums geſchloſſen, daß die Sonne Eiſen, Magneſium, Natrium, Calcium u. a. Subſtanzen in Dampfform enthält.

7. Einfluß der Entfernung auf die Wärmeſtrahlung.

Wir müſſen bei dem Studium der Wärme, welche eine Quelle gegen einen Körper ausſtrahlt, auch der Entfernung Rechnung tragen. Wenn der Körper ſich von der Quelle um das Doppelte, Dreifache u. ſ. f. entfernt, ſo wird die gegen ihn ausgeſtrahlte Wärme vier, neun Mal u. ſ. f. geringer. Der Grund hiervon iſt derſelbe, wie bei dem Ton, deſſen Intenſität demſelben Geſetze folgt.

Denken wir uns eine Hohlkugel, deren Mittelpunkt in der Quelle liegt, während ihre Oberfläche durch den Körper geht. Der Einfachheit wegen wollen wir annehmen, daß der Körper eine Platte ſei, welche auf der Oberfläche der Kugel aufliegt, und daß dieſe Oberfläche tauſendmal größer ſei als die Platte; die Kugel wird alſo tauſendmal mehr Strahlen erhalten als der Körper. Nehmen wir jetzt eine concentriſche Kugel mit doppeltem Radius, und legen die Platte auf dieſelbe. Die Oberfläche der neuen Kugel iſt viertauſendmal die des Körpers. Nun aber wird in gleicher Zeit auf der großen, wie auf der kleinen Kugel, die gleiche Anzahl von Strahlen anlangen, und da die große Kugel viertauſendmal mehr Strahlen enthält, als der Körper, ſo kommt auf dieſen nur noch $\frac{1}{4000}$ des Ganzen, d. h. viermal weniger als vorhin.

8. Verſchiedene Anwendungen der vorhergehenden Principien. — Der Thau. — Atmoſphäriſcher Waſſerdampf.

Die Geſetze der Strahlenwerfung erklären eine Menge Erſcheinungen, die wir täglich beobachten können.

Unſer Körper iſt während des Tages der erwärmenden Wirkung der Sonne ausgeſetzt und während der Nacht der abkühlenden der Himmelsräume. Es kann nicht ohne Schaden für die Geſundheit aus der Hitze plötzlich in ſtarke Kälte

verſetzt werden. Deshalb hat der Neger, welcher die heißen Länder bewohnt, eine ſchwarze Haut, damit eine reichliche Ausſtrömung ſeiner eigenen Wärme ihn abkühlt; und weil eine gleich ſtarke Abſorption der Sonnenſtrahlen dieſen Vortheil wieder aufheben könnte, ſo macht ein ölichter Schweiß ſeine Haut glatt und glänzend und bewirkt eine ſtarke Zurückwerfung der Sonnenſtrahlen. Der Araber hüllt ſich in weißen Wollenſtoff, wenn er die ſchattenloſen Wüſten durchſtreift, weil dieſer Stoff weniger als alle andern die Sonnenſtrahlen abſorbirt.

Bei uns bewirkt der Gebrauch der weißen Wäſche die Conſervation unſerer eigenen Körperwärme, welche von allen Theilen der Wäſche, die nur durch die Luft vom Körper getrennt ſind, zurückgeworfen wird. Unſere ſchwarzen Kleidungsſtücke ſind dagegen gewöhnlich unzweckmäßig, denn in der Sonne abſorbiren ſie ſtark die Wärme und im Schatten laſſen ſie unſere eigene leicht durch; ſie befördern alſo einen ſchnellen Temperaturwechſel, ſtatt ihn zu mäßigen. Angemeſſen ſind weiße Kleidungsſtücke, die nur eine ſchwache Abſorption zulaſſen.

Aus demſelben Grund, um die Ausſtrömung zu hindern, hat die Natur den Thieren der Polargegenden einen weißen Pelz gegeben, und in den andern Ländern, die einen ſtrengen Winter haben, bleicht ſie die Pelze nur während dieſer Jahreszeit.

Sehr oft im Leben werden wir Gelegenheit finden, folgende einfache Vorſchriften anzuwenden.

Um einen Körper gegen Wärmeſtrahlen zu ſchützen, gebe man ihm eine polirte Oberfläche, womöglich von Metall. Tyndall führt ein ſehr merkwürdiges Beiſpiel von dieſer Art der Präſervirung an. Eine Holztafel mit goldenen Buchſtaben ſetzte man der Strahlung eines großen Feuers aus. Das

Holz verkohlte rund um die Buchſtaben und blieb unter denſelben unverſehrt; weil eben das unbedeckte Holz die Strahlen abſorbirte, die Vergoldung ſie dagegen zurückwarf.

Will man die Abſorption der Wärmeſtrahlen im Gegentheil vermehren, ſo gebe man dem Körper eine ſchwarze Oberfläche. Nach dieſem Grundſatz ſtreichen Gärtner die Wände der Spaliere ſchwarz an, damit die Sonnenſtrahlen hier abſorbirt werden und die erwärmte Wand alsdann ihrerſeits gegen die Früchte ſtrahlt, ſo daß dieſelben dieſe Wärme und auch die von der Sonne direct anlangende erhalten.

Oft benutzen wir auch die Eigenſchaft des Glaſes, dunkle Strahlen zu abſorbiren und die hellen durchzulaſſen. In Schmelzhütten überwachen die Arbeiter durch Glasſcheiben den glühenden Fluß der Metalle; nur die leuchtenden Strahlen erreichen ihr Auge, und dieſe ſind die am wenigſten warmen. Hauptſächlich der Augenlider wegen nimmt man dieſe Vorſchrift, denn das Auge ſelbſt iſt weniger ausgeſetzt, weil ſeine Feuchtigkeit die dunklen Strahlen aufhält und ſo den Grund des Auges vor dem Verbrennen ſchützt. Die Glasglocken, mit denen Gärtner die jungen Sprößlinge bedecken, ſollen ihre Erwärmung in der Sonne erhöhen. Die hellen Strahlen, welche das Glas durchläßt, werden von der Pflanze und dem Erdboden abſorbirt, während dieſe nur dunkle Strahlen ausgeben, welche das Glas nicht paſſiren können. So erreicht die rund um die Pflanze eingeſchloſſene Luft eine viel höhere Temperatur als die draußen befindliche. Denſelben Zweck haben auch unſere Gewächshäuſer, wo die Blumen hinter Glaswänden der Sonne ausgeſetzt werden.

Wollen wir unſere Beiſpiele einem großartigeren Schauplatz entnehmen, ſo dürfen wir nur einen Blick auf unſeren Erdball werfen.

Während der Nacht verlieren die Körper der Erde allmählich einen Theil der Wärme, die ſie tagüber von der Sonne erhalten haben. Iſt der Himmel bewölkt, ſo wird dieſe von der Erdoberfläche ausgeſtrahlte Wärme von den Wolken, die bedeutend kälter ſind, abſorbirt, und die Ausſtrahlung iſt deſto geringer, je wärmer die Wolken ſind. Wenn der ganze Himmel ohne Wolken iſt, ſo wird auch die Erdſtrahlung intenſiver, weil dann die Temperatur der Himmelsräume außerordentlich kalt iſt; aber nicht bei allen Körpern zeigt ſie ſich gleich ſtark. Waſſer ſtrahlt mehr Wärme aus, als der nackte oder mit Pflanzen bedeckte Erdboden. Die Körper, welchen der Himmel durch Mauern, Bäume, Erderhöhungen u. dgl. theilweiſe verdeckt iſt, verlieren aus dieſem Grunde viel weniger Wärme. Bei gleicher Expoſition iſt die Ausſtrahlung der Metalle geringer als bei den Steinen, und bei letzteren wieder geringer als bei den grünen Theilen der Pflanzen.

Die Atmoſphäre beſteht hauptſächlich aus Luft, einem Gemiſch von Sauerſtoff, Stickſtoff und Waſſerdampf. Dieſer *Waſſerdampf* iſt ein unſichtbares, völlig durchſichtiges Gas, welches man nicht mit dem *Nebel* verwechſeln darf: letzterer beſteht nämlich aus ſichtbaren, *flüſſigen* Waſſertröpfchen. Die Luft abſorbirt wenig dunkle Wärme, und ſtrahlt deshalb auch nur wenig davon aus; daher kommt es, daß ſie in einer gewiſſen Höhe über dem Erdboden wärmer als dieſer letztere iſt. Ganz nahe am Boden kühlt ſie ſich aber durch die Berührung mit den irdiſchen Körpern ab, und wenn die Temperatur derſelben ſehr niedrig iſt, ſo verdichtet ihr Waſſerdampf ſich auf der Oberfläche der Körper und bildet hier den *Thau*, welchen wir in ſchönen Sommernächten beobachten. Er iſt ungleich vertheilt je nach Beſchaffenheit

und Lage der Körper. Legt man zum Beispiel auf einer Wiese ein Stück Eisen über einen Stein, so wird das Eisen trocken bleiben, der Stein etwas feucht und die Wiese stark mit Thau bedeckt sein. Im Frühjahr, wo die Tagestemperatur niedriger, als während des Sommers ist, kann die nächtliche Abkühlung gewisse Körper, wie die grünen Theile der Pflanzen, junge Sprößlinge, bis unter Null erkälten; das Wasser, welches sie enthalten, wird dann zu Eis, die Gewebe durchbrechend, und die Pflanze erfriert. Man nennt diese Erscheinung den Reif. Der Thau schlägt sich dann nicht im flüssigen Zustande als kleine Tröpfchen nieder, sondern in Form von Eisnadeln, welche den Rauhreif bilden.

In Bengalen kann man, obgleich die Tagestemperatur sehr hoch ist, während der nächtlichen Abkühlung Eis gewinnen, wenn man künstliche Hilfsmittel anwendet. Eine mäßig tiefe Grube wird mit Stroh, bekanntlich ein schlechter Wärmeleiter, gefüllt; über das Stroh stellt man flache unbedeckte Gefäße mit Wasser, das aber vorher durch Sieden von Luft befreit werden muß. Das Wasser strahlt sehr viel Wärme aus, während das Stroh die Erdenwärme von ihm abhält und so bildet sich das Eis. Man hat bemerkt, daß klare wolkenlose Nächte, in denen wenig Thau fällt, der Eisbereitung besonders günstig sind. Die Trockenheit der Luft befördert also die nächtliche Bodenstrahlung, während die feuchte Luft die Strahlung hindert. In der That absorbirt der atmosphärische Wasserdampf nach Tyndall bedeutend mehr Wärme, als die trockene Luft, und es folgt hieraus, daß er die strahlende Wärme zurückhält, anstatt sie durchzulassen, so daß die feuchte Luftschicht den Boden wie ein Kleidungsstück schützt.

Der Frühlingsreif richtet den Landwirthen vielen Schaden an, und *diese, die meistens* die wahre Ursache nicht

kennen, beſchuldigen die Geſtirne eines ſchädlichen Einfluſſes auf die Erde. Da der Reif nur bei ſehr reiner, klarer Luft entſteht, ſo zeigt ſich auch der Mond am Himmel in ſeinem ſchönſten Glanze und zieht dadurch natürlich die Aufmerkſamkeit auf ſich. Wir haben jedoch keinen Grund, ihm dieſe abkühlende Wirkung zuzuſchreiben, ebenſo wenig einen Einfluß auf ſchnellere Fäulniß thieriſcher Subſtanzen, wie man das oft gethan hat, weil man ſie unter dieſen Umſtänden ſchneller verweſen ſah. Man vergaß, zu bemerken, daß die Subſtanzen ſtark mit Thau bedeckt waren, und daß das Waſſer die Fäulniß beſchleunigt. Weit entfernt, die Erde abzukühlen, giebt der Mond ihr im Gegentheil noch reflectirte Sonnenwärme ab, wie Melloni das mit Hilfe ſehr feiner Inſtrumente bewieſen hat.

Nachdem der Reif nun durch Strahlung erklärt iſt, wird man leicht begreifen, wie großen Schutz die Strohmatten gewähren, die der Gärtner über ſeine zarten Pflänzchen deckt, und desgleichen die Wirkung von Rauchwolken, welche man über die Weinberge leitet, indem man ſpät in der Nacht, wo ihre Temperatur auf Null fallen kann, große Feuer aus harzigen Stoffen anzündet. Dieſes Verfahren, das durch ganz Frankreich verbreitet werden ſollte, iſt ſchon ſeit langer Zeit in mehreren Ländern, beſonders in Peru gebräuchlich.

Die Körper, welche ſich in der Nacht am meiſten abkühlen, werden auch am Tage, ſobald die Sonnenſtrahlen ſie erreichen, am ſtärkſten erwärmt. Die Planzen machen ſcheinbar eine Ausnahme, doch muß man ſich erinnern, daß das in ihnen enthaltene Waſſer verdampft und die Verdampfung Wärme verbraucht, welche alſo nicht mehr zur Erhöhung der Temperatur dienen kann. Die trockene Erde kann, wenn ſie der Sonne ausgeſetzt iſt, eine 20 bis 40 Grad höhere Temperatu

als die Luft erreichen, und schwarze Körper erlangen sogar einen noch größeren Temperaturüberschuß. Diese Thatsachen zeigen deutlich die wechselseitige Beziehung, welche zwischen Ausstrahlung und Absorption der Wärme besteht.

Im Winter bewirken die Sonnenstrahlen eine theilweise Schmelzung des Schnees, der unsere Felder bedeckt; diese Schmelzung verhindert eine Temperaturerhöhung des Erdbodens und giebt ihm eine für die Pflanzen äußerst dienliche Feuchtigkeit. In Folge mäßiger Absorption von Wärmestrahlen geht die Schmelzung nur langsam vor sich, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man ein wenig Kohlenstaub auf den Schnee schüttet; rings um jedes Stäubchen schmilzt der Schnee jetzt schnell, weil diese mehr Wärme absorbiren, und bald wird die Kohlenspur durch eine tiefe Furche auf dem Schnee bezeichnet. Der Schnee absorbirt mehr dunkle als leuchtende Strahlen; aus diesem Grunde schmilzt er unter Bäumen schneller, welche, sobald sie von der Sonne erwärmt sind, gegen den an ihrem Fuße befindlichen Schnee strahlen.

Seine präservirende Rolle spielt der Schnee wieder in der Nacht bei klarem Himmel. Der weiße Teppich, welcher unsere Felder bedeckt, strahlt nur mäßig Wärme gegen die Himmelsräume aus; seine Temperatur sinkt nur wenig unter Null und die in dem Erdboden befindlichen Pflanzen werden so vor einer zu starken Abkühlung bewahrt. Zum Schlusse erwähnen wir hier einige merkwürdige Beobachtungen, die sich auf die Rolle der Luftfeuchtigkeit beziehen.

Nach Tyndall absorbirt der Wasserdampf, der ein gewisses Volumen Luft enthalten kann, 72 Mal so viel Wärme, als dieselbe Luft, wenn sie trocken ist. Dasselbe Verhältniß findet zwischen der Wärmestrahlung der feuchten und der trocknen Luft statt.

In einem Thalgrunde, durch den ein Fluß ſich ſchlängelt, iſt die Luft nothwendigerweiſe feuchter, als auf Hochebenen oder auf Bergen. Am Abend nach einem ſchönen Sommertage, wenn die Sonne hinter den Hügeln verſchwindet, wird das Thal früher in Dunkelheit getaucht, als die umliegenden Hügelſpitzen. Sofort beginnt die feuchte Luft ihre Wärme gegen die Himmelsräume zu ſtrahlen und der Waſſerdampf macht dieſe Ausſtrahlung beſonders intenſiv. Es tritt eine plötzliche Abkühlung ein und verdichtet den Waſſerdampf zu kleinen, unbemerkbaren Tröpfchen, die wie ein feiner, dichter Regen niederfallen, ohne daß eine Wolke am Himmel zu ſehen iſt. Dies iſt der Abendthau.

Je höher man auf Gebirgen ſteigt, deſto trockenere, weniger Sonnenſtrahlen abſorbirende Luftſchichten trifft man an. Die Reiſenden, welche bei Sonnenſchein die Alpengletſcher betreten, empfinden die Wirkungen einer ſo ſchwachen Abſorption; mit den Füßen auf dem Eiſe, fühlen ſie eine unerträgliche Wärme im ganzen Körper. Die Sonnenſtrahlen durchdringen leicht die trockene Atmoſphäre und werden von den Kleidungsſtücken ſo ſtark abſorbirt, daß dieſe glühend heiß werden; die Luft aber iſt kalt, eben weil ſie keinen Waſſerdampf enthält, der die Wärme einzieht, und wenn die Reiſenden in den Schatten treten, ſo fühlen ſie die ſcharfe Kälte in der Luft. Man begreift nun, weshalb Brennſpiegel und Gläſer auf den Bergen oder überhaupt in trockener Atmoſphäre am wirkſamſten ſind.

Trockenheit der Luft iſt alſo während des Tages der Erwärmung, während der Nacht der Abkühlung irdiſcher Körper günſtig, weshalb auch alle dürren Gegenden den ſtärkſten Temperaturwechſel erleiden. In der Wüſte Sahara iſt der Sand tagüber glühend heiß, die Atmoſphäre wie Feuer; aber

die Nacht bringt eine so strenge Kälte mit, daß sich sogar Eis bildet. Man findet in der Beschreibung einer kürzlich vom Grafen Henry Russel Killough unternommenen Reise durch Asien und Australien die merkwürdigsten Angaben über die extremen Temperaturverhältnisse von Sibirien, Thibet und Australien (in allen diesen Gegenden ist zu gewissen Zeiten des Jahres die Dürre außerordentlich groß). Zu Kainsk, in Sibirien, fiel das Thermometer eines Tages binnen 4 Stunden von Null auf 15 Grad darunter; einige Tage später trat das Queckſilber vollständig in die Kugel zurück, welche darauf nur halb voll erschien; wäre das Niveau nur am Fuße der Röhre stehen geblieben, so hätte es schon 35 Grad unter Null angezeigt; an diesem Tage gefror der Branntwein, den man mit Heu und Pelzwerk bedeckt hatte. „Das Alles", sagt der Verfasser, „geschah bei hellstem Sonnenschein; wo sollten auch Wolken herkommen bei einer Temperatur, in der alle Dämpfe zu Stein werden, und das Blut in den Adern gerinnt."

In Australien erreicht die tägliche Schwankung der Temperatur zuweilen 50 Grad. Unser Reisender hat 49 Grad im Schatten und 64 Grad in der Sonne gezählt. „Die Sterblichkeit", sagt er, „war besonders unter den Kindern erschrecklich. Die Vögel fielen todt von den Bäumen, andere ließen sich mit den Händen fangen oder kamen in das Innere der Häuser und suchten in unseren Theekannen Erfrischung. Die Pflanzen waren in einem Grad verdorrt, daß sie wie Zigarrenasche auseinander fielen, wenn man sie anrührte." Kapitän Sturt beobachtete im Innern von Australien 54 Grad im Schatten und 71 in der Sonne.

Fünftes Kapitel.

Wärmeleitungsfähigkeit der Körper.

1. Gute Wärmeleiter.

Wenn man nur einen Theil eines Körpers der Wirkung einer Wärmequelle aussetzt, so erwärmt sich doch bald der ganze Körper. Diese Fortpflanzung der Wärme im Innern eines Körpers geschieht langsam, und dadurch unterscheidet sie sich bedeutend von der Wärmestrahlung. Die Eigenschaft der Körper, die Wärme von Theilchen zu Theilchen in ihrem Innern fortzupflanzen, heißt Leitungsvermögen. Man kann sich diese Wärmeleitung leicht erklären, wenn man sich jedes Theilchen des Körpers als der wärmenden Wirkung anderer Theile, welche wärmer als dasselbe und der Abkühlung durch solche, die kälter sind, unterworfen denkt. Jedes Theilchen ist im Gleichgewicht, wenn diese beiden Wirkungen sich genau ausgleichen. Die an der Oberfläche des Körpers befindlichen Theilchen sind außerdem noch der Einwirkung anderer Körper ausgesetzt, und hier müssen zwei Arten von Wirkungen unterschieden werden: die Strahlung zwischen der Oberfläche und den entfernt stehenden Körpern, und der Uebergang der Wärme von der Oberfläche auf die Gegenstände, welche mit ihr in Berührung stehen (oder umgekehrt, je nachdem die Oberfläche wärmer oder kälter, als diese Körper ist);

dieſer Uebergang heißt äußere Leitung, zum Unterſchiede von der innern.

Wenn ein Körper durch eine Wärmequelle an einem Punkt erwärmt iſt, ſo rufen Strahlung mit Leitung eine Abkühlung hervor, und jeder Punkt des Körpers bekommt erſt eine beſtändige Temperatur, wenn dieſe Abkühlung exact die Erwärmung durch die Quelle ausgleicht.

Ein einfacher Verſuch dient dazu, die Unterſchiede des Leitungsvermögens zu erkennen. Man befeſtigt neben einander zwei Stäbe von gleicher Länge, aber aus verſchiedenem Material, wie Fig. 35 zeigt. Unter dieſelben klebt man mit Wachs eine Reihe Holzkugeln; darauf erwärmt man die Stäbe an der Stelle, wo ſie zuſammenſtoßen, und ſieht nun die Kugeln eine nach der andern abfallen, indem das Wachs über ihnen ſchmilzt.

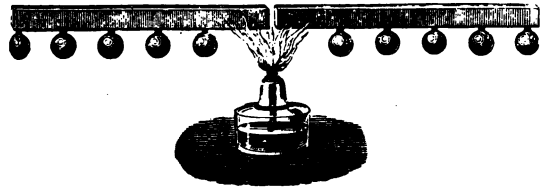


Fig. 35. Leitungsvermögen feſter Körper.

Hat man einen Kupfer- und einen Eiſenſtab zu dem Verſuch genommen, ſo findet man, daß von dem erſtern mehr Kugeln fallen, als von dem letztern, daß alſo die Wärme im Kupfer weiter vordringt, als im Eiſen. Deshalb ſagen wir: Das Kupfer iſt ein beſſerer Wärmeleiter, als das Eiſen.

Um eine größere Anzahl von Stoffen gleichzeitig zu unterſuchen, bildete Ingenhous aus denſelben gleich lange und dicke Stäbe, die er an der Vorderſeite eines Blechkaſtens befeſtigte (*Fig. 36*). Die Stäbe überzog er mit Wachs und beob-

achtete dann, wie weit auf jedem Stabe das Wachs ſchmolz. So erhielt er folgende Liſte, in welcher die Metalle nach abnehmender Leitungsfähigkeit geordnet ſind:

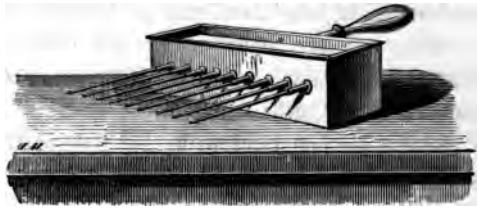


Fig. 36. Apparat von Ingenhous.

Silber.
Kupfer.
Gold.
Meſſing.
Zinn.
Eiſen.
Blei.
Platina.
Wismuth.

Die große Leitungsfähigkeit des Silbers kann man bei täglichem Gebrauch leicht bemerken, wenn man z. B. einen ſilbernen und einen zinnernen Löffel zu gleicher Zeit in ſiedendes Waſſer taucht; der Stiel des erſteren wird ſich bedeutend ſtärker erwärmen als der des anderen.

Man darf bei Verſuchen dieſer Art die Intenſität der Erwärmung nicht mit der Schnelligkeit derſelben verwechſeln, denn erſtere hängt nur von dem Leitungsvermögen, letztere aber außerdem von der ſpecifiſchen Wärme des Körpers ab, von der weiter unten die Rede ſein wird. So zeigt der Verſuch z. B., daß das Wachs auf dem Eiſen weite-

ſchmilzt, als auf dem Wismuth, woraus wir ſchließen, daß mehr Wärme in das Eiſen dringt und daß dieſes ein beſſerer Leiter iſt, als der Wismuth; trotzdem ſchmilzt das Wachs früher auf dem Wismuth. Dieſelbe Bemerkung gilt für den Verſuch mit den Holzkugeln:

Die Entfernung zwiſchen dem erwärmten Ende und dem Punkte, an welchem die letzte Holzkugel abfällt, muß beachtet werden, nicht aber die Geſchwindigkeit, mit der die Kugeln fallen.

Hier noch ein anderes Experiment, das auf den erſten Blick paradox ſcheint, ſich aber auf ganz ähnliche Weiſe erklärt.

Setzen wir auf den Deckel eines mit ſiedendem Waſſer gefüllten Gefäßes zwei kleine Cylinder von glechen Dimenſionen, den einen aus Eiſen, den andern aus Kupfer, und überziehen bei beiden das obere Ende mit Wachs. (Figur 37) Die Wärme aus dem Gefäß dringt allmählich in die Cylinder, bis das Wachs ſchmilzt. Auf dem Wismuth beginnt die Schmelzung zuerſt, obgleich wir ihn für einen ſchlechteren Wärmeleiter, als Eiſen, erklärt haben.

Fig. 37. Leitungsvermögen des Eiſens und Wismuths.

Wir werden aber ſpäter ſehen, daß ungefähr viermal ſo viel Wärme dazu gehört, ein beſtimmtes Gewicht Eiſen um einen Grad zu erwärmen, als daſſelbe Gewicht Wismuth (oder daß die „ſpecifiſche Wärme" des Eiſens viermal größer

ist); wenn daher der Wismuth schon heiß geworden ist, während das Eisen sich nur wenig erwärmt hat, so hat das letztere doch mehr Wärme absorbirt; so kommt es, daß die Wirkung im Eisen langsamer zum Vorschein kommt, aber schließlich doch bedeutender ist.

Die guten Leiter, wie die Metalle, fassen sich kalt an; weil nämlich die Hand, welche sie berührt, durch die natürliche Wärme des Blutes eine weit höhere Temperatur besitzt, so giebt sie ihnen durch Leitung von ihrer Wärme ab, und während diese sich im Innern des Metalls leicht fortpflanzt, wird der Wärmeverlust, den die Hand erleidet, fortwährend erneuert und dadurch sehr empfindlich. Aber nicht immer erscheinen die besten Wärmeleiter bei der Berührung am kältesten. Die Wirkung hängt auch von der specifischen Wärme ab, ist also, wie wir oben sahen, eine zusammengesetzte. Nichtsdestoweniger kann man die gröberen Unterschiede der Leitbarkeit durch bloße Berührung mit der Hand herausfinden. So erscheint das Holz lange nicht so kalt wie Marmor, Marmor nicht so kalt als Metall; die Ordnung, in der wir diese drei Stoffe nennen, ist auch zugleich die ihrer abnehmenden Leitungsfähigkeit. Es wird angenommen, daß man die Körper berührt, nachdem sie eine Zeitlang in demselben Zimmer gestanden, um die Temperatur desselben anzunehmen.

Fig. 38.

Die nämliche Bemerkung bezieht sich auch auf folgendes Experiment. Man umwickelt einen zur Hälfte aus Kupfer, zur Hälfte aus Holz construirten Cylinder mit einem Papierblatt (Fig. 38) und hält die weiße Oberfläche einige Augenblicke in eine Flamme. Sofort zeigt sich der Unterschied beider Stoffe: die Papierhülle des Holzes

iſt verkohlt, die des Kupfers aber weiß geblieben. In ſeiner Eigenſchaft als guter Wärmeleiter entzieht das Kupfer die Wärme dem Papiere in dem Maße, als ſie von der Flamme anlangt, während das Holz ſie an derſelben Stelle ſich anſammeln läßt.

Wir finden noch ein ſehr merkwürdiges Beiſpiel der Leitbarkeit in einer Eigenſchaft der Metallgewebe. Wenn man ein Drahtnetz über die Flamme eines Gasbrenners hält (Fig. 39), ſo durchdringt dieſe es nicht; ihre äußere Hülle,

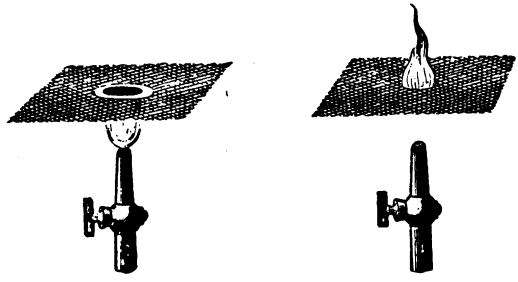


Fig. 39. Eigenſchaft der Metallgewebe.

die, (wie wir im dritten Kapitel geſehen haben) auch die wärmſte iſt, erhitzt das Metallnetz, und der rothglühende Kreis, den ſie darauf markirt, iſt ein neuer Beweis für die angegebene Conſtitution der Flamme. Ueber dem Netz findet keine Verbrennung ſtatt, es dringt aber brennbares Gas durch die Maſchen, wovon wir uns leicht überzeugen können, indem wir daſſelbe durch ein brennendes Hölzchen über dem Netz entzünden (was auch noch dann gelingt, wenn die Gasflamme zuvor ausgelöſcht worden iſt; in dieſem Fall erhält man eine Flamme, die blos über dem Netz brennt).

Das Metallgewebe hält alſo nur die Wärme auf, es kühlt das Gas *ſo weit ab*, daß die auf der einen Seite be-

gonnene Verbrennung ſich nicht bis zur andern S
ſetzen kann. Dieſe Abkühlung beruht auf der Lei
in dem vorigen Experiment mit dem Doppelcylind

Auf die eben erwähnte Eigenſchaft der Drahtne
ſich auch die Davy'ſche Sicherheitslampe,
Arbeiter in den Steinkohlengruben vor Gas-Explo
wahren ſoll.

Jeder Schlag der Hacke, der einen Steinkohle
löst, befreit auch eine gewiſſe Quantität eines a
und Waſſerſtoff zuſammengeſetzten Gaſes. Da
kohlen immer ſehr tief in der Erde lagern, ſo mu
ihrer Gewinnung unterirdiſche Gänge graben, wo
bengas ſich aufhält und mit der Luft miſcht. K
Flamme dieſer Miſchung zu nahe, ſo erfolgt au
bindung des Koh
Waſſerſtoffs mit de
ſtoff der Luft eine
Es iſt daher einerſei
die Circulation der
Stollen zu beförde
das Grubengas g
Entſtehen ausgetrie
andrerſeits aber d
leuten ein Mittel a
zu geben, das ſi
nahenden Gefahr u
Zu dieſem Zweck
Flamme einer Oel
einem Drahtnetz
(Fig. 40). Das

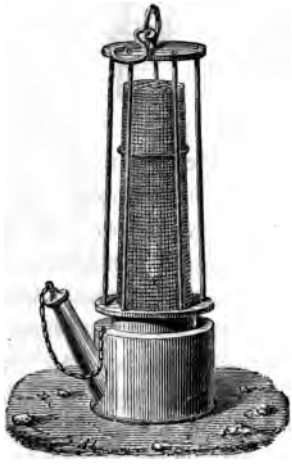


Fig. 40. Davy'ſche Sicherheitslampe.

Gas tritt durch die Maſchen in die Lampe und verb

der Oelflamme; dieſe dehnt ſich aus, wird bläſſer und erfüllt das ganze Innere des Apparats. Aber dieſe Flamme kann nicht nach Außen dringen, wenn die Maſchen des Netzes hinreichend dicht ſind und nicht etwa durch längeren Gebrauch Löcher in dem Drahtnetz entſtanden ſind. Der auf dieſe Weiſe gewarnte Arbeiter muß nun ſchleunigſt den Stollen verlaſſen, jedoch vorſichtig, ohne die Lampe ſtark zu bewegen; denn ſonſt könnten Funken durch die Maſchen fliegen und eine Exploſion bewirken.

Leider erfordert die Anwendung der Davy'ſchen Lampe eine große Vorſicht und Aufmerkſamkeit von Seiten der Bergleute und kann, wenn ſie nicht gut in Stand gehalten wird, ſehr gefährlich werden. Sind einige Drähte verroſtet, ſo trägt die durch das Grubengas verſtärkte Flamme zu ihrer gänzlichen Zerſtörung bei, es entſtehen Löcher in dem Netz und die Exploſion erfolgt. Deshalb fängt man ſchon an, die Davy'ſche Lampe durch die Geisler'ſchen Leuchtröhren zu erſetzen.

2. Schlechte Wärmeleiter.

Wir haben uns bisher hauptſächlich mit Körpern beſchäftigt, die gute Wärmeleiter ſind. Stein, Glas, Holz, thieriſche und vegetabiliſche Gewebe ſind ſchlechte Wärmeleiter; die Wärme pflanzt ſich nur ſchwer in ihnen fort. Wenn man dieſe Stoffe als Pulver oder Faſern anwendet, ſo können ſie die Wärme ſogar ganz aufhalten, denn einerſeits hebt dieſe Zertheilung den innern Zuſammenhang der Theilchen auf, und andrerſeits drängen ſich kleine Luftſchichten, die die Wärme ſchlecht leiten, zwiſchen die Theilchen. Legt man z. B. Asbeſt in die hohle Hand, ſo kann man ohne Schaden ein glühendes Eiſen darüber legen. Artilleriſten

transportiren glühende Kugeln in einem hölzernen, mit trockenem Sande gefüllten Karren. Desgleichen conſervirt man Eis in Sägeſpänen. Die Vereinigten Staaten exportiren das Eis in Blöcken von 100 Kilogr., welche in Sägeſpäne verpackt werden, nach wärmeren Ländern. So hat man im Jahre 1851 mehr als 50,000 Tonnen Eis exportirt und dazu für 35,000 Gulden Sägeſpäne verbraucht. Trotz aller Vorſichtsmaßregeln ſchmilzt doch ein Theil des Eiſes während der Ueberfahrt. Von Boſton bis Calkutta ſchmelzen wol vier Fünftel.

Zur Herſtellung der Eiskeller wird das geringe Leitungsvermögen der Ziegel benutzt. Tiefe Gruben mauert man mit Ziegeln aus, um der Erdenwärme den Zutritt zu dem Eiſe, das im Winter eingebracht wird, zu wehren. (Fig. 41) Das Dach bedeckt man mit Stroh, um auch die Sonnenwärme abzuhalten, und pflanzt rund um die Grube Bäume, welche mit ihren ſchattigen Zweigen eine weitere Schutzwehr gegen die Sonne bilden. Auch muß man verhindern, daß die innere Luft durch die vom

Fig. 41. Eiskeller.

Lise gebildeten Zwischenräume circulirt; deshalb gießt man während des Winters eine Quantität Wasser in die Grube, damit dieses gefrierend die Eisstücke zu einer einzigen Masse verbindet. Beim Herannahen der wärmeren Jahreszeit schmilzt das Eis allmählig, aber nur langsam und das daraus entstehende Wasser fließt durch ein im Boden angebrachtes Gitter in einen Abzugsbehälter.

Auch wendet man die Ziegel ihrer geringen Leitungsfähigkeit wegen zur Construction der Stubenöfen an. Sie eignen sich dazu vortrefflich, weil sie sich sehr langsam abkühlen, nachdem sie stark erwärmt worden sind. Man heizt die Oefen nur des Morgens, und wenn der Brennstoff nur noch glühende Kohlen bildet, wird die Feuerung hermetisch verschlossen; die Wärme strahlt langsam durch die äußere glasirte Oberfläche, und dies genügt, um den durch die Wände verursachten Wärmeverlust zu ersetzen. Ziegelwände sind ebenfalls die am meisten praktischen; die aus Stein gebauten müssen weit dicker sein, weil Stein die Wärme besser leitet als Ziegel. Eine vortreffliche Mauer würde ein doppelter Holzverschlag mit Sägespänen ausgefüllt bilden. Eine solche Wand eignete sich eben so gut für warme, als für kalte Länder, da sie auch die äußere Wärme in die Häuser einzudringen hindern würde, wenn man tagüber alle Oeffnungen verschlossen hielte.

Als Beispiel der eigenthümlichen, durch Leitbarkeit der Wärme erklärlichen Wirkungen, erwähnt Tyndall ein Dampfschiff, das unter folgenden Umständen beinahe zu Grunde gegangen wäre. Bei einer Meerfahrt ereignete es sich, daß der Kessel der Maschine sich auf der Innenseite mit einer dicken Schicht erdiger Materien überzog, welche aus dem Wasser stammten. *Ansätze dieser* Art bilden sich immer an den

Wänden der Gefäße, in welchen man gewöhnliches Waſſer ſieden läßt, weil dieſes verſchiedene Subſtanzen enthält, die es bei ſeiner Berührung mit dem Erdboden aufnimmt. In dem beſagten Dampfkeſſel hatte man dieſe Schicht über Gebühr anwachſen laſſen, und weil dieſe ein ſehr ſchlechter Wärmeleiter iſt, mußte man, um die genügende Quantität Dampf zu erzielen, das Feuer verſtärken und ſehr viel mehr Kohlen verbrennen als ſonſt. Bald war der ganze Vorrath erſchöpft, noch ehe man den Hafen erreichte, und man war genöthigt, alles was nur von Holz auf dem Schiffe vorhanden, ſogar das Deck zu verbrennen. Nachträglich entdeckte man die Urſache dieſes ungewöhnlichen Verbrauchs von Brennmaterial.

Gewebe organiſchen Urſprungs ſind die feſten Körper, welche die Wärme am ſchlechteſten leiten. Deshalb können viele Thiere und Pflanzen plötzlichen Temperaturwechſeln widerſtehen, Dank den vortrefflichen Kleidern, welche die Natur ihnen verliehen. Wir ſelbſt ſuchen die Natur in unſerer Bekleidung nachzuahmen. Wollene Kleidungsſtücke ſchützen unſeren Körper im Winter vor dem Verluſt ſeiner eigenen Wärme und im Sommer vor zu ſtarker Abſorption der äußern Wärme; ſie ſind deshalb zweckmäßiger als baumwollene Stoffe, welche die Wärme beſſer leiten. Die Gewebe unſerer Kleidungsſtücke ſind alle von Subſtanzen gebildet, die vorher Thieren oder Pflanzen zur Bekleidung gedient haben. Die Thiere beſonders, welche warmes Blut haben, bedürfen eines kräftigen Schutzes, weil der Wärmeverluſt eines Körpers wächſt mit dem Ueberſchuß ſeiner Temperatur über diejenige der Umgebung. Darum ſehen wir auch die Vierfüßler der kalten Länder mit einem gewaltig dicken Pelz bekleidet, und die Vögel mit einem Gefieder, das

noch wirksamer als dieser ist. In diesen natürlichen Bekleidungen ist die mechanische Zertheilung der schlechten Wärmeleiter ins Unendliche getrieben. Die tausend Fasern, welche Pelz oder Federn bilden, sind das größte Hinderniß für die Verbreitung der Wärme.

Was die in der Luft oder im Wasser lebenden Thiere anbetrifft, deren Körper eine nur wenig höhere Temperatur besitzt als die Elemente, die ihnen zum Aufenthalte dienen, so bedürfen diese keiner Bekleidung, und die Thätigkeit ihrer Lebensfunctionen variirt mit der Temperatur ihres Aufenthaltsortes, so daß auch die Temperatur ihres Körpers dieselbe Veränderung erleidet. Es sind dies die Thiere mit kaltem Blut; der Frost erstarrt sie, weil ihre Lebensthätigkeit bei dieser Temperatur abnimmt; die Wärme im Gegentheil ermuntert sie wieder, weil ihre Lebensthätigkeit zunimmt, um dem Körper die genügende Wärme zu erhalten.

Flüssigkeiten leiten die Wärme ebenso wie feste Körper, aber mit ihrem Leitungsvermögen verbindet sich gewöhnlich eine andere Erscheinung, welche hier erwähnt werden muß.

3. Wärmeströmungen in Flüssigkeiten und Gasen.

Betrachten wir ein Glasgefäß, das mit Wasser gefüllt ist und von unten her erwärmt wird (Fig. 42). Man hat in dasselbe Sägespäne von Eichenholz gestreut, welche ungefähr das specifische Gewicht des Wassers haben. Wir sehen diese Holzspäne in der Mitte des Glases aufsteigen und längs den Wänden wieder niederfallen. Was mag wol die Ursache dieser Circulation sein? Das am Boden erwärmte Wasser wird leichter, steigt empor und führt die Sägespäne mit sich fort. An der *Oberfläche angelangt*, ist es bereits unterwegs

abgekühlt, und wird dieſes noch mehr durch die Berührung mit der Luft und durch eigene Wärmeausſtrahlung. Die Wände des Gefäßes ſind ebenfalls durch die beiden letzten Urſachen abgekühlt, ſo daß das Waſſer, welches mit ihnen in Berührung ſteht, ſchwerer iſt als das des Mittelpunkts. Dieſes ſchwere Waſſer fällt alſo auf den Boden, wo es erwärmt wird, um längs der Achſe wieder aufzuſteigen, u. ſ. w. Die Späne folgen allen Bewegungen des Waſſers und machen uns dieſelben ſichtbar.

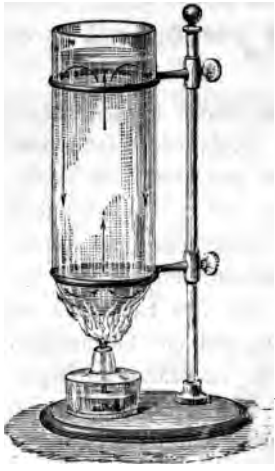


Fig. 42. Verbreitung der Wärme im Waſſer.

Die „Wärmeſtrömung“ beſteht in dieſer Wanderung der ungleich erwärmten Schichten; ſie bewirkt eine ſchnelle Verbreitung der Wärme durch die ganze Maſſe, ſelbſt wenn die Flüſſigkeit zu den ſchlechteſten Wärmeleitern gehört. Denn die warmen Theile erwärmen bei ihrer Bewegung die kälteren und dieſe Vermiſchung dauert ſo lange, als das Gefäß über dem Feuer ſteht. Wenn man die Leitung allein beobachten will, ſo muß man dieſe Wärmeverbreitung durch Miſchung beſeitigen, indem man die Flüſſigkeit von oben erwärmt. Despretz ſtellte zu dieſem Zweck auf die Oberfläche der Flüſſigkeit einen Blechkaſten, durch den ein Strom heißes Waſſer geleitet wurde. Die erſte Schicht, durch die Erwärmung leichter gemacht, blieb an der Oberfläche und erwärmte durch Leitung die folgende Schicht, dieſe die nächſt-

folgende u. ſ. w. Horizontale Thermometer, welche man an dem Gefäße befeſtigt hatte, zeigten nach einer gewiſſen Zeit verſchiedene Temperaturen, die von oben nach unten zu abnahmen. (Fig. 43.) Demnach leiten die Flüſſigkeiten gleich

Fig. 43. Apparat für das Leitungsvermögen der Flüſſigkeiten.

feſten Körpern die Wärme; ſie ſind aber im Allgemeinen ſchlechte Leiter; beſonders Waſſer hat ein ſo geringes Leitungsvermögen, daß dieſes lange Zeit ganz geläugnet wurde. So kann man zum Beiſpiel Eis auf den Boden eines Glasrohres legen und darüber Waſſer an der Oberfläche zum Sieden bringen, ohne daß das Eis auf dem Grunde ſchmilzt. (Fig. 44.)

In Gaſen iſt die Fortführung der Wärme viel ſchwerer zu vermeiden. *Es entſtehen* darin Strömungen, nicht nur

in vertikaler Richtung als Folge der ungleichen Dichtigkeit der wärmeren und kälteren Partien, sondern nach allen Sei-

Fig. 44. Waſſer über Eis ſiedend.

ten hin wegen der Ausdehnbarkeit der Gaſe durch Wärme. In allen Experimenten, welche man über Gaſe angeſtellt, muß man die hervorgebrachten Wirkungen gleichzeitig der Leitung und der Miſchung zuſchreiben. Sehr intereſſant iſt es, dieſe Wirkungen an verſchiedenen Gaſen zu beobachten.

Im dritten Kapitel haben wir geſehen, daß ein Metalldraht ſich erwärmt, wenn ein elektriſcher Strom durch denſelben geht. Wird dieſer Draht durch eine Reihenfolge metalliſcher Theile erſetzt, unter denen ſich ein feiner Platina-

gebracht werden

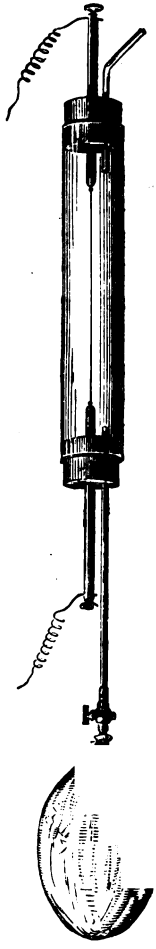


Fig. 45. Abkühlend
Wirkung der Gaſ

von dem geringen Leitungsvermögen der Luft. Dieſer Umſtand trägt Vieles zur Wirkſamkeit der Pelze und Kleidungsſtücke bei. Die Luft, welche alle Zwiſchenräume ihrer Faſern ausfüllt, bildet hier ſtehende Schichten, welche die Wärme zurückhalten. Drückt man die Stoffe ſtark zuſammen, um die Luft daraus zu entfernen, ſo vergrößert man ihr Leitungsvermögen, alſo auch den Wärmeverluſt. Ebenſo würde dieſe Luft, wenn ſie ſich erneuern könnte, die Wärme fortführen und die Bekleidungen verlören dadurch wieder ihre Wirkſamkeit. Deshalb iſt auch Pelzwerk viel wärmer, wenn man die rauhe Seite nach innen kehrt.

Die in kalten Ländern und in den Gewächshäuſern gebräuchlichen Doppelfenſter ſind eine Anwendung dieſer Principien. Zwiſchen den beiden Glaswänden befindet ſich eine Luftſchicht, die ſich nicht erneuern kann, und in der die Strömung kaum merklich iſt; ſie wirkt als ſchlechter Wärmeleiter, indem ſie die Wärme der Zimmer und Gewächshäuſer hindert, durch Leitung zu entweichen. Durch Strahlung kann die Wärme ſich ebenſo wenig vermindern, denn die Glasſcheiben laſſen keine dunklen Strahlen durch, dagegen aber ſehr leicht die Sonnenſtrahlen, welche zur Erhöhung der inneren Temperatur beitragen.

Sauſſure conſtruirte eine im Innern geſchwärzte Holzkiſte, deren eine Wand von drei Glasſcheiben gebildet wurde, deren jede von der andern durch eine dünne Luftſchicht getrennt war. In dieſe Kiſte ſtellte er ein Gefäß mit Waſſer, ſetzte die Glaswand den Sonnenſtrahlen aus und brachte ſo das Waſſer zum Sieden. Die Erklärung dieſes merkwürdigen Experiments faßt alles in ſich, was wir über Strahlung und Leitung der Wärme gelernt haben. Die Sonnenwärme durchdringt die Glasſcheiben und Luftſchichten ver-

mittelst Strahlung und wird durch die geschwärzten Wände stark absorbirt. Einmal in dunkle Wärme verwandelt, kann sie das Glas nicht wieder durch Strahlung passiren und wird vollständig zur Erwärmung der in der Kiste enthaltenen Luft- und Wassermasse verwandt. Die stark erwärmten Holzwände behalten eine hohe Temperatur in Folge ihres geringen Leitungsvermögens, welches sie gegen die abkühlende Wirkung der benachbarten Körper unempfindlich macht. Dasselbe gilt auch von der Glaswand, weil die Luftschichten darin unbeweglich bleiben.

Mit einer ganz ähnlichen Vorrichtung hat Sir John Herschel am Cap der guten Hoffnung ein Gericht Rindfleisch an der Sonne gekocht. Es beruhen darauf auch die Versuche, welche Ericson und Mouchot angestellt haben, Dampfmaschinen durch die Sonne zu heizen.

4. Wanderung der Wärme im Ocean. — Meeresströmungen.

Durch die Fortführung in den Gewässern des Oceans und in der Atmosphäre wird hauptsächlich die Vertheilung der Sonnenwärme auf der Erde bewirkt. Immense Strömungen unterhalten in den Meeren eine Temperaturordnung, deren Gesetze noch wenig bekannt sind. Andere Strömungen bewegen die Luftschichten in allen Höhen; dies sind die Winde, welche abwechselnd unseren Festländern trockenes oder nasses Wetter bringen und Gesetzen folgen, von denen nur ein ganz kleiner Theil hat beobachtet werden können.

Um uns begreiflich zu machen, wie die Wärme Meeresströmungen hervorrufen kann, denken wir uns einmal den Erdball ringsum von Wasser umgeben und betrachten die Wirkungen der Sonnenstrahlen auf diesen gewaltigen Ocean. Am Aequator langen die Strahlen in fast vertikaler Rich-

tung an, sie werden immer schräger, je näher wir den Polen kommen, bis sie an den Polen selbst die Erdoberfläche in fast horizontaler Richtung streifen. Ihre Wirkung nimmt deshalb vom Aequator zu den Polen ab, und die an der Oberfläche befindlichen Wasserschichten haben in den Aequatorgegenden eine wärmere Temperatur als an den Polen. Hier nun senken sie sich auf den Grund des Oceans und bilden in der Tiefe Strömungen, welche von den Polen nach dem Aequator fließen. Die Wassermassen erwärmen sich dabei, und am Aequator angelangt, steigen sie an die Oberfläche, erreichen hier ihre höchste Temperatur und fließen wieder nach den Polen zurück, Strömungen an der Oberfläche bildend. So entstände in der flüssigen Hülle der Erdkugel eine beständige Circulation, wie sie auf Figur 46 durch Pfeile angedeutet ist.

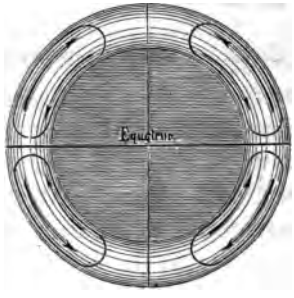
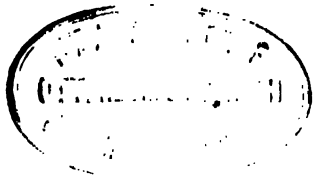


Fig. 46. Theorie der Meeresströmungen.

Betrachten wir nun die Erde mit ihren Festländern und ihren Meeren. Die Form der Küsten und ihre eigene Temperatur modificirt die Strömungen, welche sich zwischen dem Aequator und den Polen etabliren sollen. In Meeren, welche beinahe vollständig von Festländern begrenzt werden, können sie gar nicht vorkommen, die Temperatur wird hier allein von der lokalen Wirkung der Sonnenstrahlen bestimmt. Daher kommt es, daß das Mittelmeer wärmer als der Ocean ist, daß die Gewässer des Indischen Meeres, welche nach Norden keinen Ausgang finden, sich hier bedeutend erwärmen und dazu beitragen, die Hitze in

Fig. 47. Meeresströme.



dieſen Gegenden während des Sommers ſo unerträglich zu machen. Dagegen können die Meeresſtrömungen ſich im Atlantiſchen Ocean und in der Südſee, welche ſich von einem Pole bis zum anderen erſtrecken, ſehr gut bilden, und ihre Exiſtenz iſt auch conſtatirt. Duperrey und Maury haben ſie genau beobachtet, und die Arbeiten Maury's haben zu einer ſehr nützlichen Anwendung geführt. Fahrzeuge, welche von Amerika nach Europa gehen, dürfen nur eine in dieſer Richtung fließende Strömung aufſuchen, und machen dann die Ueberfahrt in weit kürzerer Zeit, als wenn ſie eine andere Route wählten.

Man ſieht auf Figur 47 die großen, bis jetzt bekannten Strömungen. Für uns iſt der Golfſtrom eine der wichtigſten, weil er einen bedeutenden Einfluß auf das Klima des weſtlichen Europas ausübt. Seine beträchtlichen, unter der glühenden Sonne Centralamerikas erwärmten Waſſermaſſen wälzen ſich nach den Küſten Englands, Frankreichs und Spaniens. Im Atlantiſchen Ocean findet man auf der Karte zwei gewaltige Strudel bezeichnet, deren einer unterhalb, der andere oberhalb des Aequators ſich befindet. Erſterer wird durch eine vom Südpol kommende Strömung gebildet, welche erſt, die Weſtküſte Afrikas kühlend, bis zum Aequator ſteigt, wo ſie ihre höchſte Temperatur erreicht und ſich dann in zwei Arme theilt. Der eine fließt an der Küſte Patagoniens herunter, um den Kreislauf zu ſchließen, während der andere längs der Küſte von Braſilien aufſteigt und in dem zweiten Strudel endet. Dieſer zweite Arm iſt es, welcher im Golf von Mexiko zurückgetrieben zum Golfſtrom wird. Bei ſeinem Austritt aus dem Golf beſitzt er eine Geſchwindigkeit von 2 Meter (6 Fuß) in der Secunde und eine Temperatur von 27 Graden. Er nimmt ſeinen Lauf nach

Norden, dann nach Neufundland, wendet ſich plötzlich gegen Oſten und theilt ſich wieder; der niederwärts fließende Arm badet die Geſtade Englands, wo er eine mäßige Temperatur unterhält, und kehrt dann, ohne ſich weit von den Küſten Frankreichs und Spaniens zu entfernen, nach den Aequatorgegenden zurück, wo der Kreislauf ſich vollendet. Was den andern Arm betrifft, ſo fließt dieſer nordwärts, das Klima Irlands und Norwegens mildernd. Die vollſtändige Circulation des Golfſtroms repräſentirt eine Seereiſe von mehr als dreitauſend Meilen. Seine höchſte Temperatur in der Nähe des Aequators beträgt 28 Grad, gegen die Vereinigten Staaten 18 Grad, während das Meerwaſſer in derſelben Entfernung vom Aequator, aber außerhalb der Strömung nicht mehr als 14 Grad erreicht. Man kann ſich die mannigfaltigen Wirkungen, die ſolche Strömungen hervorbringen, leicht denken. Die aus dem Norden kommenden führen Eisſtücke mit ſich, welche allmählig ſchmelzen, ſobald ſie ſich wärmeren Regionen nähern; Bäume, Trümmer aller Arten werden von einem Feſtland an das andere transportirt; Samenkörner, Eier, die nach einer weiten Reiſe noch keimen oder ſich öffnen, und ſo erklären ſich die merkwürdigſten Emigrationen. Der Menſch ſelbſt findet ſeine Wege auf dem Ocean vorgezeichnet, und ein Blick auf unſere Karte genügt, um zu begreifen, warum die Wilden der Südſeeinſeln mit ihren Pirogen niemals an der amerikaniſchen Küſte landen konnten; eine gewaltige Strömung zieht ſich von Oſten nach Weſten durch das Stille Meer und bildet ein unüberwindliches Hinderniß für dergleichen Fahrzeuge.

Peru und Braſilien ſind betreffs der Meeresſtrömungen ſehr verſchieden ſituirt. Erſteres genießt die abkühlende Wirkung eines vom Südpol kommenden Stromes, weshalb es

ſich trotz ſeiner Nähe zum Aequator an den Küſten einer mäßigen Temperatur erfreut. Die Bewohner konnten ohne Hilfe von Sclaven den Erdboden cultiviren und haben ſich ihre milden Sitten bewahrt. Braſilien dagegen iſt der erwärmenden Wirkung des durch den Atlantiſchen Ocean fließenden Aequatorſtromes ausgeſetzt; die übermäßige Hitze des Klimas hat die Eingebornen gezwungen, ſich zur Bearbeitung ihrer Ländereien Sclaven anzuſchaffen, welche Afrika liefern muß.

Die Meeresſtrömungen hängen übrigens nicht allein von der Wirkung der Sonnenſtrahlen auf das Waſſer ab; ſie ſtehen auch im Zuſammenhang mit den Winden, der täglichen Umdrehung der Erde und noch vielen anderen Umſtänden, was die Ergründung ihrer Geſetze ſehr erſchwert.

Man weiß durch die Seefahrer, daß von den Polen aus Strömungen an der Oberfläche des Oceans nach dem Aequator fließen und Eisſtücke mit ſich führen. Im nächſten Kapitel werden wir ſehen, weshalb die mit Eis gemiſchten Strömungen ſich immer an der Oberfläche zeigen. Dieſes Waſſer aber, welches die Pole verläßt, muß durch weniger kaltes Waſſer vom Aequator her erſetzt werden, es befinden ſich alſo wahrſcheinlich in der Tiefe der Eismeere gewaltige unterſeeiſche Strömungen, welche die Wärme nach den Polen führen. Unmöglich iſt es daher nicht, daß die Polargegenden in bewohnbaren Meeren beſtehen, allenthalben von einem ewigen Eiskranz umgeben, der unten abſchmilzt und ſich oberhalb wieder erneuert durch die Condenſation der Waſſerdämpfe, welche aus den Meeren emporſteigen. Das wäre eine beſtändige Ausgleichung zweier entgegengeſetzter Wirkungen, wie bei den Strömungen der Aequatorgegenden; es würde alſo die Wärmevertheilung in den Gewäſſern der Erde

durch zwei Circulationssysteme ausgeführt, wie Figur 48 zeigt. Dieser Schluß hat sich im Jahre 1853 bestätigt.

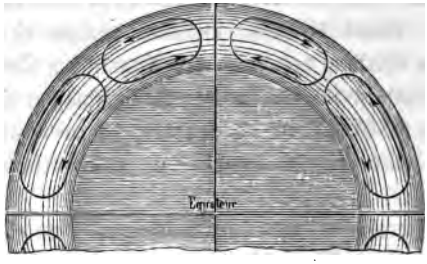


Fig. 48. Theorie der Polarströmungen.

Doctor Kane aus Philadelphia entdeckte nach zwei Jahren voll unsäglicher Strapatzen und großer Gefahren am Nordpol ein Meer, welches von Thieren, die man sonst nur in gemäßigten Erdstrichen antrifft, bewohnt wurde. Ein dichter Nebel lagerte über demselben. Leider konnten die Untersuchungen nicht lange ausgedehnt werden, denn die erschöpften Reisenden mußten an ihre Rückkehr denken.

5. Vertheilung der Wärme in der Atmosphäre. — Die Winde.

Die Vertheilung der Wärme in der Atmosphäre folgt Gesetzen, die womöglich noch complicirter sind, als diejenigen der Meeresströmungen.

Nehmen wir den allereinfachsten Fall und versetzen uns in Gedanken an den Strand des Meeres, an einem Abend, der einem schönen warmen Tage folgt; die Nacht rückt heran, die Sonne ist verschwunden. Auf die Absorption der Sonnenwärme folgt die Strahlung gegen die Himmelsräume. Während des Tages erwärmt die Oberfläche des Meeres sich stärker, als die des Erdbodens, und die Wärme dringt bis

in seine Tiefen; in der Nacht kühlt das Meer sich wieder langsamer ab, als die Erde, denn die tieferen Schichten kommen unaufhörlich an die Oberfläche und ersetzen die abgekühlten Schichten. Die über dem Meer lagernde Luft vermindert ebenfalls seine Abkühlung, weil sie feucht ist und der Wasserdampf die dunklen Wärmestrahlen absorbirt. Diese Luft nun ist wärmer als die, welche die Erde bedeckt, weil sie die Wärme des Meeres aufnimmt. Warme und feuchte Luft ist aber leichter, als trockne und kalte; folglich erhebt die Meeresluft sich, und die Luft vom Lande senkt sich und gleitet dem Meere zu. So entsteht der Wind, welchen man Abendbrise nennt und der so lange anhält, als ein bedeutender Unterschied zwischen der Temperatur des Meeres und des Landes stattfindet, und auch keine andern Ursachen Winde erzeugen. Diese Abendbrise benutzen die Seeleute zu ihrer Abfahrt aus dem Hafen.

Wenn die Sonne am Morgen aufgeht, so veranlaßt sie einen Seewind, denn jetzt erwärmt sich die Erde schneller und die Brise kommt vom Meer; sie führt die Schiffe in den Hafen.

Auf dieselbe Weise erklären sich auch die Gebirgswinde. Am Abend weht in den Thälern ein Wind, der von den Bergen kommt, wo die Abkühlung eine stärkere ist. Des Morgens zeigt der Wind sich in veränderter Richtung, weil die Bergesspitzen von der Sonne früher erwärmt werden als der Thalgrund.

Wenden wir unsere Schlußfolgerung auf große Landstrecken und große Luftmassen an, so haben wir die Erklärung der Moussons, die in gewissen Gegenden sechs Monate lang in einer Richtung, und sechs Monate lang in der entgegengesetzten wehen. Der Wind auf dem Mittelmeere, zum

Beiſpiel, kommt während des Sommers gewöhnlich aus Norden, während des Winters aus Süden. Die unregelmäßigen Winde, welche außerdem die Atmoſphäre bewegen, laſſen wir bei Seite. Die Sommer-Mouſſon wird durch die Erwärmung der Wüſte Sahara bewirkt, und die Winter-Mouſſon durch ihre Abkühlung, während das Meer und die ſüdlichen Küſten Europas faſt die gleiche Temperatur behalten. Dieſe Mouſſons ſind die Urſache der verſchiedenen Dauer der Hin- und Herreiſe zwiſchen Toulon und Algier. Da die Erwärmung der Wüſte intenſiver als ihre Abkühlung iſt, ſo iſt auch die aus Norden kommende Mouſſon wirkſamer als die aus Süden, und ein Segelſchiff, das während des ganzen Jahres regelmäßige Ueberfahrten in beiden Richtungen macht, braucht durchſchnittlich für die Reiſen von Algier nach Toulon mehr Zeit, als umgekehrt.

Betrachten wir jetzt den ganzen Erdball. Am Aequator iſt die Erwärmung der Oberfläche am ſtärkſten; die Luftſchichten ſind hier am leichteſten, theils in Folge ihrer Temperatur, theils wegen ihrer Feuchtigkeit. Wenn die Erde ſich nicht drehte, ſo würden dieſe Luftſchichten ſich von der Oberfläche entfernen und durch kältere, von den Polen zuſtrömende erſetzt werden; es entſtände daraus ein Circulationsſyſtem, wie Figur 48 es veranſchaulicht. In der nördlichen Hemiſphäre hätte man beſtändigen Nordwind, in der ſüdlichen Hemiſphäre beſtändigen Südwind, und am Aequator, wo der Luftſtrom aufwärts ſteigt, Windſtille.

Aber die Erde dreht ſich von Weſten nach Oſten. Die Geſchwindigkeit eines Punktes der Oberfläche iſt viel größer, je näher er beim Aequator liegt; an den Polen iſt die Geſchwindigkeit unmerklich. Wenn die Polarluft daher dem Aequator zuſtrömt, ſo trifft ſie auf eine Oberfläche, welche

unter ihr fort nach Osten eilt; das Resultat ist dasselbe, als wenn die Oberfläche ruhte, während die ankommende Polarluft über derselben nach Westen strömte. So entsteht ein Wind, der von Nordosten nach Südwesten gerichtet ist, d. h. ein Nordostwind. Dieser weht auf der nördlichen Halbkugel, während auf der südlichen Südostwind herrscht. Am Aequator entsteht aus ihrem Zusammentreffen ein Ostwind. Dies sind die Passatwinde. Christoph Columbus hat sie zuerst erkannt; sie trieben sein Schiff nach der neuen Welt, und man erzählt, daß seine Gefährten darüber entsetzt waren, weil sie fürchteten, nie wieder zurückkehren zu können.

Die eben entwickelte Theorie der Passatwinde verdanken wir Halley. Natürlich ist die Erscheinung in Wirklichkeit nicht so einfach, als wir sie dargestellt haben, weil die Oberfläche der Erde unregelmäßig gestaltet ist, aber die Grundzüge sind doch richtig.

Wenn die Passatwinde auf der Oberfläche der Erdkugel leicht constatirt werden können, so scheint es dagegen schwieriger, die Existenz der oberen Winde festzustellen, welche in den höheren Regionen der Atmosphäre wehend den Kreislauf schließen. Ihre Richtung muß den unteren Winden entgegengesetzt sein, d. h. Südwest in der nördlichen, Nordost in der südlichen Hemisphäre. Der Passatstaub, welchen diese Winde mit sich führen, verräth ihr Dasein.

Im Frühjahr und Herbst zeigt sich nämlich in Frankreich und Italien häufig ein Staubregen, in welchem das Mikroskop allerlei organische, aus Centralamerika stammende Ueberreste erkennen läßt. Es giebt dort Sümpfe, die um diese Zeit austrocknen; heftige Wirbelwinde fegen darüber hin und führen die Erdstäubchen zu der Höhe des oberen

Paſſatwindes, welcher aus Südweſt kommend dieſelben in nordweſtlicher Richtung nach Europa trägt, im Zeitraume von einem Monat ohngefähr.

Ferner muß noch ein Transport von Aſche aus einem Vulkan Guatemalas angeführt werden, die im Jahre 1853 von Weſten nach Oſten gegen Jamaika geweht wurde, und zwar in ſolcher Menge, daß das Land mehrere Tage hindurch in völlige Dunkelheit getaucht war.

Aus dieſen Beobachtungen ſchließen wir, daß die Fortführung und Ausgleichung der Wärme, wenn auch nicht die einzige, ſo doch die Haupturſache der Meeresſtrömungen und Winde iſt. Erſt nachdem man ihre Wirkungsart genau ergründet hat, kann man daran denken, auch einen Verſuch zur Auffindung der übrigen Urſachen zu machen, und dies iſt die Aufgabe der Meteorologie.

Sechſtes Kapitel.

Volumenänderung der Körper.

1. Wirkung der Wärme auf Gaſe. — Fühlbare Wärme. — Aeußere Arbeit.

Nehmen wir eine feſt verſchloſſene Blaſe, welche Luft enthält, und nähern ſie dem Feuer; wir ſehen ſie allmählich größer werden, ſich aufblähen, obgleich die Quantität der darin befindlichen Luft dieſelbe bleibt. Zu gleicher Zeit erwärmt ſie ſich, und wenn wir den Hals der Blaſe um eine Thermometerröhre befeſtigen (Fig. 49), ſo daß die Kugel bis in den Mittelpunkt reicht, ſo können wir wahrnehmen, wie die Temperatur der inneren Luft ſich erhöht. Entfernen wir die Blaſe vom Feuer, ſo fällt ſie langſam zuſammen, kühlt ſich ab und nimmt wieder ihren urſprünglichen Zuſtand an. Der Temperaturwechſel, welchen das Thermometer anzeigt, beruht darauf, daß die eingeſchloſſene Luft im erſten Falle Wärme abſorbirt, im zweiten Wärme verliert. Die Wärme, welche

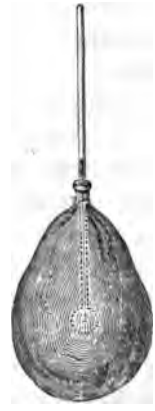


Fig. 49.
Ausdehnung der Luft unter conſtantem Druck.

auf das Thermometer wirkt, nennt man die freie oder fühlbare Wärme; wir werden sehen, daß dies lange nicht alle Wärme ist, die absorbirt oder verloren wurde. Es kommt hiebei nämlich die Volumenänderung in Betracht.

Die Blase erleidet einen zweifachen Druck; im Innern den der eingeschlossenen Luft, äußerlich den der Atmosphäre. Da sie sehr biegsam und nicht elastisch ist, so hält der Druck der beiden Seiten sich das Gleichgewicht. Wenn man sie nun erwärmt, so nimmt der innere Druck etwas zu; die Blase bläht sich, bis das Gleichgewicht des Druckes wieder hergestellt ist, und wenn man mit der Erwärmung fortfährt, so nimmt diese Aufblähung allmählich zu, ohne daß der innere Druck den der Atmosphäre merklich übersteigt. Man sagt: die eingeschlossene Luft erwärmt sich unter constantem Druck, nämlich unter dem Druck der Atmosphäre. Jeder Quadratcentimeter der Oberfläche trägt ungefähr 1 Kilogramm (jeder Quadratzoll 15 Pfund). Wird ein Theil der Oberfläche um die Länge eines Centimeters vorgeschoben, so wird damit 1 Kilogramm per Quadratcentimeter um 1 Centimeter transportirt. Indem sich die eingeschlossene Luft ausdehnt und die umgebende äußere Luft zurücktritt, verrichtet sie also eine gewisse mechanische Arbeit, welcher nach den im 1. Kapitel aufgestellten Principien ein gewisser Verbrauch von Wärme entspricht. Wenn also ein Gas unter constantem Druck erwärmt wird, so bleibt ein Theil der zugeführten Wärme frei oder fühlbar, d. h. er dient dazu, die Temperatur des Gases zu erhöhn, der Rest wird verbraucht, d. h. in Arbeit verwandelt.

Da die Theilchen des Gases keine merkliche Cohäsion besitzen, so geschieht die Ausdehnung ohne Widerstand von

Innen; es wird keine Kraft auf die Trennung der Theilchen verwandt, oder, wie man zu sagen pflegt, keine innere Arbeit geleistet.

Die Abkühlung der Blase ist ein dem vorigen entgegengesetzter Prozeß; die fühlbare Wärme des Gases geht in die benachbarten Körper über, wobei sie ihren Zustand bewahrt; die Atmosphäre wirkt, indem sie die Blase auf ihr ursprüngliches Volumen zurückführt, als zusammenpressende Kraft und leistet eine mechanische Arbeit, die in Wärme umgewandelt wird: diese Wärme geht mit der vorigen in die umgebenden Körper über.

Die Luftballons bieten uns ein Beispiel der Erwärmung eines Gases unter constantem Druck, welcher dem der Atmosphäre gleich ist. Der erste Versuch wurde 1782 zu Avignon von den beiden Brüdern Joseph und Etienne Montgolfier gemacht. Sie verfertigten einen großen Ballon von 35 Fuß Durchmesser aus Leinwand, mit Papier gefüttert. Am unteren Ende befand sich eine weite Oeffnung, unter der man ein großes Feuer anzündete, welches die innen befindliche Luft erwärmend, den Ballon aufblähte, und man sah diesen alsbald in die Höhe steigen. Bei einem zweiten, im nächsten Jahre zu Annonay ausgeführten Experiment wurde unter der Oeffnung ein Korb aus Eisendraht angebracht, in welchen man den Brennstoff hineinlegte, um das Feuer so während der Auffahrt unterhalten zu können. Der Ballon stieg zu der Höhe von 2000 Metern auf. Einen viel größeren Luftballon ließ man in Versailles vor dem versammelten Hof aufsteigen und diesmal nahm derselbe einen Käfig mit einigen Thieren mit, welche wohlbehalten wieder auf der Erde anlangten. Nach diesen ersten Versuchen wagten sich auch zwei Männer in die bis dahin unergründeten Regionen der Atmosphäre.

Es waren dies der Marquis d'Arlandes und Pilatre de Rozier, welche am 20. November 1783 vom Schloſſe de la Muette aufſtiegen und zum erſten Male in einem Luftballon über

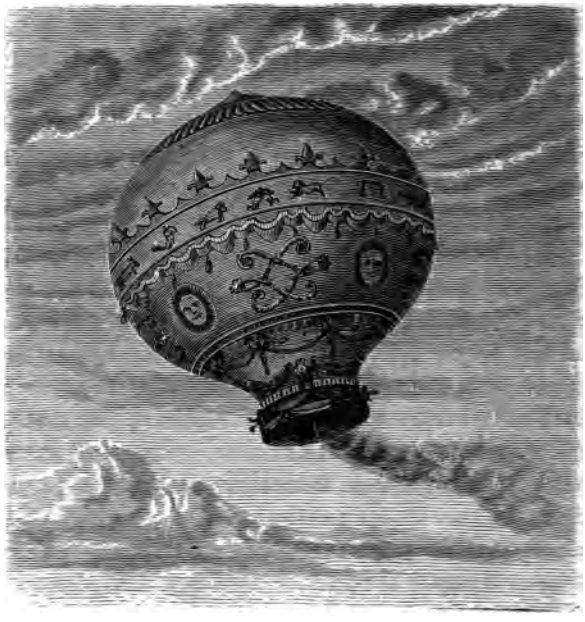


Fig. 50. Verſailler Luftballon.

Paris hinſchwebten (Fig. 50). Der Erfolg dieſer Luftfahrt gab den Anſtoß zu zahlreichen Unternehmungen derſelben Art. Statt der warmen Luft wandte man bald das leichtere Waſſerſtoffgas an; heutzutage werden die Ballons gewöhnlich mit Leuchtgas gefüllt, welches zwar nicht ſo leicht als Waſſerſtoff, aber weit billiger iſt.

Die Urſache des Aufſteigens eines Luftballons liegt darin,

daß er ſpecifiſch leichter iſt, als die umgebende Luft. Warme Luft iſt leichter, als kalte Luft; Waſſerſtoffgas iſt leichter als beide. Wenn der Ballon zur Abfahrt bereit iſt, ſo verhält er ſich wie ein Kork, den man unter Waſſer feſthält; ſobald man ihn losläßt, fährt er in die Höhe.

Aehnliches beobachtet man täglich an unſern Kaminen und Stubenöfen. Die gasförmigen Verbrennungsproducte und die heiße Luft des Ofens ſind leichter, als die äußere kalte Luft; ſie entweichen daher durch den Schornſtein, während die Zimmerluft in die Feuerung ſtrömt. Zu gleicher Zeit tritt von Außen her kalte Luft in das Zimmer durch Thüren und Fenſter; wenn aber die Oeffnungen nicht groß genug ſind, oder wenn die äußere Luft verhältnißmäßig zu warm iſt, ſo zieht der Ofen nicht, d. h. der aufſteigende Luftſtrom iſt nicht kräftig genug, die äußere Luft ſinkt durch den Schornſtein und veranlaßt einen Gegenſtrom, welcher das Zimmer mit Rauch erfüllt.

Die Strömungen im Ocean und in der Luft, die wir im vorigen Kapitel beſchrieben haben, und deren Reſultat eine Ausgleichung der Temperaturen durch Transport und Vertheilung der Wärme iſt, entſpringen ebenfalls derſelben Urſache, nämlich der Ausdehnung durch die Wärme.

Im Vorigen haben wir die Erwärmung eines Gaſes unter conſtantem Druck betrachtet, wobei Ausdehnung ſtattfand und mechaniſche Arbeit geleiſtet wurde. Wir wollen uns jetzt mit dem Falle beſchäftigen, wo das Gas ſich unter conſtantem Volumen erwärmt, alſo ohne Ausdehnung und ohne Arbeit.

Ein Glasgefäß (Fig. 51) enthält Luft und eine geringe Quantität einer ſchwerflüchtigen Flüſſigkeit, z. B. Oel; dasſelbe iſt durch einen Pfropfen verſchloſſen, durch welchen eine

enge Glasröhre bis in die Flüſſigkeit geht. Erwärmt man nun das Gefäß, ſo ſieht man das Oel in der Glasröhre ſteigen, woraus man ſchließt, daß die Federkraft der eingeſchloſſenen Luft zunimmt, während dieſelbe wärmer wird. (Daß ſie nämlich wärmer wird, zeigt ein Thermometer, welches man neben der Röhre durch den Pfropfen führt.) Die Ausdehnung der Luft iſt hier unmerklich, denn ſie rührt nur von der Ausdehnung des Glaſes und dem verdrängten Oel her, dagegen iſt die Zunahme der Elaſticität oder des Drucks ſehr fühlbar, denn ſie wird durch die Höhe der Flüſſigkeitsſäule gemeſſen. Wir haben alſo den Satz bewieſen: wenn ein Gas ſich erwärmt, ohne ſich auszudehnen, ſo wächſt der Druck, den es ausübt.

Fig. 51. Erwärmung bei conſtantem Volumen.

Wir können dieſelbe Erſcheinung auch an dem Apparat beobachten, der Fig. 1 dargeſtellt iſt und aus einer hohlen Metallkugel beſteht, die auf zwei Rädern ruht. Pfropfen wir die Kugel gut zu und zünden die darunter befindliche Lampe an. Die Luft in der Kugel wird erwärmt und drückt gegen die Wände ihres Gefängniſſes; dieſe aber widerſtehen und nichts verräth äußerlich ihren Druck. Hat die Temperatur gegen 272 Grad erreicht, ſo wird jeder Quadratcentimeter der inneren Wand mit der Kraft von 2 Kilogrammen nach außen gedrückt, während die Atmoſphäre

auf denſelben Theil der äußeren Oberfläche nur den Druck von 1 Kilogramm ausübt. Wenn der Pfropfen 1 Quadratcentimeter ausfüllt, ſo erfährt er jetzt einen Drucküberſchuß von 1 Kilogramm, und wenn er nicht ſehr feſt in die Mündung gepreßt iſt, ſo fliegt er heraus. Dabei erfolgt der Rückprall des Geſtelles, den wir ſchon früher beſchrieben haben. Iſt der Pfropfen ſehr feſt hineingetrieben, ſo muß die Temperatur erhöht werden und die Elaſticität noch mehr zunehmen, um ſeinen Widerſtand zu beſeitigen. Der Beweis dieſer Zunahme findet ſich dann in dem lebhafteren Zurückweichen des Geſtelles.

Dieſes Experiment erklärt uns auch die Exploſionen, die bei verſchiedenen Gelegenheiten vorkommen. Meiſtens werden ſie durch entzündbare Stoffe veranlaßt, die ſich in einem verſchloſſenen Raume befinden, der auch Luft enthält. Bricht hier Feuer aus, ſo entſteht eine chemiſche Verbindung mit Befreiung von Wärme und Licht; die Miſchung wird ſtark erwärmt, ohne ſich ausdehnen zu können; die ſchnell zunehmende Elaſticität beſeitigt endlich den Widerſtand der Wände, dieſe geben nach, und das Gas fährt mit Heftigkeit heraus. Eine Exploſion kann aber auch ohne Zutritt der Luft ſtattfinden, zum Beiſpiel durch Pulver, weil die Subſtanzen, aus denen es beſteht, ſich in Gaſe verwandeln, wie das ſchon im erſten Kapitel geſagt wurde.

So lange das Gas in einem verſchloſſenen, ſein Volumen begrenzenden Raum erwärmt wird, dient die Wärme nur dazu, ſeine Theilchen zu einer beſonderen Thätigkeit zu erregen, die ſich in Zunahme der Elaſticität und fühlbaren Wärme äußert. Man darf aber nicht glauben, daß die Zunahme der Elaſticität eine mechaniſche Arbeit der Wärme ſei. Die Wärme übt hier nur eine Wirkung aus: die Erhöhung der

Temperatur, und dies ist keine Arbeit, weil bei der Veränderung, die das Gas erleidet, keine Massen von Ort und Stelle bewegt werden; es gilt hier nicht, wie bei Erwärmung des Gases unter constantem Druck, einen Widerstand zu beseitigen. Die der Gasmasse zugeführte freie Wärme verleiht ihr eine Elasticität, nach welcher man die Quantität dieser Wärme ebenso gut als mit dem Thermometer messen kann. Wir dürfen sagen, daß die Spannung und Temperatur zwei Formen der fühlbaren Wärme sind, welche das Gas besitzt.

Es folgt daraus ein zweiter, auf die Erwärmung der Gase bezüglicher Satz:

Wenn ein Gas bei constantem Volumen erwärmt wird, so bleibt alle Wärme, die ihm zufließt, in fühlbarem Zustande und dient dazu, seine Temperatur zu erhöhen. Diese Temperaturerhöhung ist von zunehmendem Druck gegen die Wände begleitet, welchen diese durch ihren Widerstand das Gleichgewicht halten. Kühlt sich das Gas im Gegentheil ab, indem es sein Volumen beibehält, so verliert es einen Theil seiner fühlbaren Wärme, und diese geht in die umgebenden Körper über; Temperatur und Druck nehmen gleichzeitig ab. Aus unseren Sätzen können wir nun folgenden Schluß ziehen.

Will man die Temperatur eines Kilogramms Luft von Null auf 272 Grad erhöhen, so verbraucht man dazu, wenn die Luft sich ausdehnt und denselben Druck bewahrt, weit mehr Wärme, als wenn sie auf ein unveränderliches Volumen beschränkt bleibt; denn in dem ersten Fall wird Wärme zur Ausführung einer mechanischen Arbeit verbraucht, die in dem zweiten fortfällt. Die Erfahrung bestätigt diesen Schluß.

Meistentheils werden Gase unter Umständen erwärmt,

die gleichzeitig eine Veränderung des Volumens und Druckes zulassen; die Quantität der Wärme, die sie alsdann verbrauchen, hängt ebenso viel von der Erhöhung ihrer Temperatur, als von der dabei geleisteten mechanischen Arbeit ab. Sie variirt also mit der Arbeit, unter sonst gleichen Umständen. Ein Kilogramm Gas verbraucht, um von einer Temperatur auf eine andere höhere gebracht zu werden, und verliert, indem es zu einer niedrigern zurückkehrt, sehr verschiedene Wärmequantitäten, je nach den dabei betheiligten mechanischen Wirkungen. Nimmt das Volumen zu, so wird eine mechanische Arbeit ausgeführt und Wärme verbraucht; nimmt es ab, so wird eine Arbeit verbraucht und Wärme erzeugt.

Dies Princip erklärt, wie die Dampfmaschine Arbeit ausführt, indem sie Wärme vernichtet. In der Ausdehnungsperiode führt die in der Maschine enthaltene Luft eine Arbeit aus; in der Zusammenziehungsperiode verbraucht dieselbe Luft eine Arbeit, die geringer ist, als die vorige: die Differenz ist der Gewinn, welchen man als Leistung der Maschine nutzbar macht. Ferner wird in der ersten Periode Wärme verbraucht, in der zweiten Wärme erzeugt, deren Quantität aber kleiner ist als die vorige; die Differenz dieser beiden Wärmequantitäten wird vernichtet, oder vielmehr in Arbeit umgewandelt.

2. Wirkung der Wärme auf feste Körper und Flüssigkeiten. — Größe der Molekularkräfte. — Innere Arbeit.

Da die Theilchen der festen Körper und der Flüssigkeiten durch bedeutende Cohäsionskräfte verbunden sind, welche bei jeder Volumenänderung überwunden werden müssen, so ist die Wirkung der Wärme auf diese Körper weit complicirter, als ihre Wirkung auf die Gase.

Denken wir uns einen Würfel von Eisen, 1 Meter hoch

und ebenſo lang und breit. Wird derſelbe von Null auf 90 Grad erhitzt, ſo wird jede Kante um 1 Millimeter länger. Der atmoſphäriſche Druck beträgt auf jeder der 6 Flächen 10300 Kilogramm. Durch die Ausdehnung wird alſo dieſe Laſt ſechsmal um $\frac{1}{2}$ Millimeter vorgeſchoben, was einer Arbeit von 31 Kilogrammetern gleichkommt. Eine Wärmeeinheit beträgt 425 Kilogrammeter; die äußere Arbeit der Ausdehnung des Eiſens iſt hier alſo noch nicht dem zehnten Theil einer Wärmeeinheit äquivalent.

Unvergleichlich größer iſt die innere Arbeit, welche zur Beſiegung der Cohäſion verwandt worden iſt. Directe Verſuche ergaben nämlich, daß man, um eine Kante des eben beſchriebenen Eiſenwürfels um 1 Millimeter zu verlängern, eine Zugkraft von ungefähr 22 Millionen Kilogramm ausüben müßte.

Was eine ſo ungeheure mechaniſche Anſtrengung erfordern würde, führt alſo die Wärme ohne Schwierigkeit aus, indem ſie die Temperatur von 0 auf 90 Grad erhöht. Sie wirkt auf die Theilchen des Eiſens wie eine mechaniſche Kraft, trennt ſie gewaltſam und leiſtet auf dieſe Art eine innere Arbeit, die ſich nach Kilogrammetern ſchätzen läßt. Jedesmal, wenn eine innere Arbeit von 425 Kilogrammetern geleiſtet iſt, verſchwindet eine Wärmeeinheit, d. h. ſie iſt für das Thermometer verloren.

Einen anderen Beweis für die Größe der Molekularkräfte haben wir in der enormen mechaniſchen Gewalt, welche die Ausdehnung oder Zuſammenziehung feſter und flüſſiger Körper entwickelt, wenn dieſe einen Temperaturwechſel erleiden.

Will der Stellmacher einen Eiſenreifen um das Rad legen, ſo erwärmt er ihn ſtark, um ihn auszudehnen, bis er ihn ganz leicht auf das Rad bringen kann und läßt ihn dann

erkalten: der Reif zieht sich zusammen und preßt den Rand des Rades, das er vorhin nur lose umspannte, mit großer Gewalt zusammen.

Die Eisenbahnschienen dürfen sich nicht berühren, sondern jede ist von der folgenden ein wenig entfernt, damit sie Platz zur Ausdehnung behalten. Ohne diese Vorsichtsmaßregel würden sie während des Sommers durch die Wärme gekrümmt werden. Auf einer Strecke von 100 Kilometern beträgt die Verlängerung der Schienen durch die Sonnenwärme 30 Meter, und wenn sie im Winter dicht an einander stießen, könnten sie, da sie am Boden befestigt sind, eine solche Ausdehnung nicht erleiden, ohne sich zu werfen.

Eine fernere Wirkung der ausdehnenden und zusammenziehenden Kraft sind die Brüche, welche in schlecht wärmeleitenden Körpern entstehen, wenn dieselben einem plötzlichen Temperaturwechsel unterworfen werden. Berührt man zum Beispiel Glas mit einem glühenden Eisen, so bricht das Glas entzwei, weil die berührten Theile sich sehr schnell ausdehnen und die benachbarten Theile, welche kalt bleiben, auseinander sprengen. Wenn man Glas mit einem außerordentlich kalten Körper berührte, würde es ebenfalls zerbrechen, und zwar infolge des plötzlichen Zusammenziehens der berührten Theile. Man benutzt diese Eigenschaft des Glases, um Glasgefäße am Rande auszuschneiden, indem man auf der Oberfläche einen Strich mit der Feile zieht und eine glühende Kohle auflegt. Der Bruch geschieht in der Richtung des Striches, worauf man die Kohle weiter führt, immer in der Richtung, welche man dem Schnitt geben will.

Um die Ausdehnungskraft der Flüssigkeiten zu beobachten, kann man ein Gefäß mit der betreffenden Flüssigkeit füllen, mit einem Pfropfen schließen und dann erwärmen; das Gefäß

wird ſpringen, wenn der Pfropfen gut ſchließt. Nehmen wir z. B. ein Eiſengefäß von einem Liter Inhalt, füllen es mit Waſſer, ſchließen es mit einem Schraubenpfropfen gut zu und erwärmen es auf 100 Grad. Das Gefäß wird ſich kaum um 4 Kubikcentimeter ausdehnen, das Waſſer dagegen um 43 Kubikcentimeter, alſo mehr als zehnmal ſo viel. Dieſes Waſſer nun übt auf die Eiſenhülle einen gewaltigen Druck aus, der ſie ſprengt, wenn ſie ſich nicht mehr ausdehnen kann.

Fig. 52. Richtung eines Gewölbes.

Eine höchſt merkwürdige Anwendung der Kraft der Zuſammenziehung feſter Körper wurde von dem Architekten Molard an dem Conſervatorium der Künſte und Gewerbe zu Paris gemacht. In einem gewölbten Gange des Erdgeſchoſſes waren die Mauern durch den Druck der Wölbung gewichen und man hatte einen Einſturz zu befürchten. Molard führte nun parallele Eiſenſtangen (Fig. 52), welche an beiden Enden

Schraubenmuttern trugen, durch die Mauern, ließ sie ihrer ganzen Länge nach stark erhitzen, die Schrauben anziehen, dann Alles abkühlen. Indem die Eisenstangen sich zusammenzogen, richteten sie die Mauern ohne heftigen Ruck. Man wiederholte dieses Verfahren noch mehrmals, bis die Mauern wieder ihren vertikalen Stand hatten. Die Eisenstangen sind ihnen als Stütze geblieben, und wer nach Paris kommt, kann sie noch heute dort sehen.

Es ist sehr wichtig, die Gesetze der Ausdehnung der Metalle zu kennen, da sie zur Zeit so vielfältig als Baumaterial verwendet werden. Und man muß dieselben wohl zu Rathe ziehen, wenn ihre Anwendung nicht gefährlich werden soll, wenn unsere heutigen Häuser nicht durch bloßen Temperaturwechsel der Gefahr des Einsturzes ausgesetzt sein sollen. Die Blei- und Zinkdächer, welche aus aneinander gelötheten Blättern bestehen, werden im Sommer stellenweise aufgetrieben, weil sie durch die gelötheten Stellen in der Ausdehnung gehindert werden; im Winter bekommen sie Risse, weil die Zusammenziehung ebenso gehindert wird. Man sollte daher die Metallblätter gleich Dachziegeln nur übereinanderlegen, damit sie alle Veränderungen ihrer Dimensionen ungehindert erleiden könnten. Ebenso dürfen die Abzugsröhren aus Metall, welche der Luft ausgesetzt sind, nicht auf einer zu großen Länge gelöthet werden. Man hat Eisenstangen durch ihre Ausdehnung harte Steine, in die sie eingegossen waren, zersprengen sehen. Die Steine selbst, obgleich ihre Dehnbarkeit nicht sehr groß ist, trennen sich bei starkem Frost von einander, und drängen sich, wenn es recht warm wird, wieder dicht zusammen. Bei Brücken entsteht dadurch eine Hebung oder Senkung ihrer Wölbung. Besonders die Hängebrücken zeigen große Veränderungen an ihren Bogen. Eine

Hängebrückenkette von 100 Meter Länge erleidet im Laufe eines Jahres eine Variation von 7 Centimetern. Auf dieſe Wirkungen muß bei Ausführung von Bauten Rückſicht genommen werden, und beſonders darf man niemals Materialien von ſehr verſchiedener Dehnbarkeit mit einander verbinden, ſonſt entſtehen unregelmäßige Bewegungen die leicht Sprünge verurſachen. Glücklicherweiſe haben Metalle, Steine, Ziegel faſt die gleiche Dehnbarkeit, und es hat daher keine Gefahr, dieſelben gemeinſam bei Bauten zu verwenden, wenigſtens hinſichtlich der Wärmewirkungen, — mit anderen haben wir uns hier nicht zu befaſſen.

Nachdem wir ſo die wichtige Rolle der Molekularkräfte in feſten und flüſſigen Körpern erkannt haben, können wir ſagen, daß die Wärme, indem ſie den Widerſtand dieſer Kräfte beſeitigt, eine innere mechaniſche Arbeit ausführt, und daß ſie bei dieſer Operation theilweiſe verbraucht wird. Daraus ziehen wir folgenden Satz:

Wenn man einen feſten Körper oder eine Flüſſigkeit erwärmt, und er bei ſeiner Ausdehnung einen äußeren Widerſtand, wie den der Atmoſphäre beſeitigt, ſo theilt die Wärme, welche dabei verbraucht wird, ſich in drei Theile; der erſte wird zur Ausführung einer äußeren Arbeit, der zweite zur Ausführung einer inneren Arbeit verwandt, der dritte verbreitet ſich in dem Körper als freie oder fühlbare Wärme, und dient zur Erhöhung ſeiner Temperatur.

Kühlt derſelbe Körper ſich ab, ſo rührt die Wärme, welche er abgiebt, ebenſo wieder aus drei Urſachen her. Ein Theil entſteht durch den äußeren Druck, welcher etwa den Körper zuſammenpreßt, ein anderer ſtammt von den Molekularkräften her, welche die kleinſten Theilchen einander nähern und wieder in ihre frühere Lage zurückführen; dies iſt die Wärme, welche

durch den Verbrauch der äußeren und der inneren Arbeit erzeugt wird; der dritte Theil ist die freie Wärme des Körpers, welche derselbe vor seiner Abkühlung besaß.

Die Existenz der innern Arbeit bildet einen wesentlichen Unterschied zwischen den Gasen und den festen oder flüssigen Körpern. Gewöhnlich sind die letzteren keinem anderen äußeren Druck als dem Atmosphärendruck ausgesetzt; in diesem Fall ist die äußere Arbeit ganz unbedeutend, und man hat neben der freien Wärme nur diejenige der innern Arbeit in Rechnung zu ziehen, welche man Dilatationswärme nennen könnte.

3. Wie man die Ausdehnung der Körper mißt. — Dichtigkeitsmaximum des Wassers.

Wir werden jetzt sehen, wie man die Ausdehnung der Körper messen kann. Zu diesem Zweck mußten sehr feine und empfindliche Instrumente erfunden werden.

Das einfachste Instrument für Gase hat die Form des Galilei'schen Thermometers. (Fig. 6 A.) Man wiegt das Quecksilber, welches die Kugel enthalten kann, und auch das, welches eine Abtheilung der Röhre einnimmt, und berechnet daraus, wie viel Mal die Kugel das Volumen einer Abtheilung enthält. Führt man nun das Gas in die Kugel ein und darüber einen Quecksilberindex, so weiß man, wieviel Abtheilungen dem vom Gase eingenommenen Volumen entsprechen. Darauf hält man die Kugel neben einem Thermometer in Wasser und erwärmt dieses; die kleine Quecksilbersäule hebt sich und die Zahl der Abtheilungen, welche sie durchläuft, mißt die Ausdehnung, während das Thermometer anzeigt, um wie viel Grade die Temperatur gestiegen ist.

Auf dieſe Art kann man das Geſetz Gay-Luſſacs finden: für jeden Grad nimmt das Volumen irgend eines Gaſes um $\frac{1}{272}$ ſeines urſprünglichen Werthes zu.

Daſſelbe Inſtrument dient auch für die Flüſſigkeiten. Man darf nur die Kugel damit füllen, als ob es ſich um Herſtellung eines Thermometers handelte, und daſſelbe Verfahren wie bei dem Gaſe anwenden.

Bei allen dieſen Verſuchen muß der Ausdehnung des Glaſes Rechnung getragen werden, welche die Volumenzunahme des in der Kugel enthaltenen Gaſes oder der Flüſſigkeit zu geringe erſcheinen läßt, wie wir das bei dem folgenden Experiment ſehen werden.

Fig. 53. Ausdehnung der Flüſſigkeiten.

Man nimmt eine Glaskugel mit einem Halſe, auf welchem Abtheilungen markirt ſind und füllt ſie mit rothgefärbtem Alkohol in der Weiſe, als wollte man ein Thermometer herſtellen (Fig. 53). Taucht man die Kugel in ſiedendes Waſſer, ſo ſieht man das Niveau anfangs ſinken, und erſt etwas ſpäter ſich erheben und allmählich höher und höher ſteigen. Die Glashülle erwärmt ſich nämlich früher als die Flüſſigkeit, dehnt ſich aus, und das Niveau ſinkt; bald darauf erwärmt ſich auch die Flüſſigkeit, dehnt ſich bedeutend mehr aus als das Glas, und ihr Niveau ſteigt weit über ſeinen urſprünglichen Stand.

Mit Berückſichtigung dieſer Wirkung der Gefäße hat man für viele Flüſſigkeiten den Ausdehnungscoefficienten berechnet, d. h. die Quantität, um welche die Volumeneinheit zunimmt, wenn die Temperatur um 1 Grad ſteigt. Man hat gefunden,

daß sie nicht den gleichen Coefficienten haben. So dehnt Alkohol sich mehr aus als Wasser, Aether mehr als Alkohol.

Zu bemerken ist, daß jeder Körper, welcher durch Erwärmung ausgedehnt wird, sich bei der Erkaltung nach demselben Gesetze zusammenzieht, d. h. wieder dasselbe Volumen annimmt, wenn er zu derselben Temperatur zurückkehrt.

Das Wasser zeigt eine andere Erscheinung, die in der Natur eine wichtige Anwendung findet.

Füllen wir ein, dem vorigen ähnliches Thermometer mit Wasser, stellen dasselbe in Wasser, das 8 Grad hat, und warten, bis es dieselbe Temperatur zeigt; das Niveau bleibt an einer gewissen Abtheilung stehen, die wir markiren. Werfen wir darauf kleine Eisstückchen in das Bad, um es abzukühlen; das Niveau des in der Röhre befindlichen Wassers wird sinken, bei 4 Grad stationär erscheinen, darauf wieder steigen, und wenn das Bad Null hat, beinahe bei seinem ursprünglichen Stand angelangt sein. Das Wasser in der Röhre hat also sein kleinstes Volumen bei 4 Grad.

Wir folgern daraus, daß das Wasser von Null an sich zusammenzuziehen beginnt, bei 4 Grad sein kleinstes Volumen erreicht, und sich von da an mehr und mehr ausdehnt bis zum Siedepunkt. Ein Maß Wasser von 4 Grad wiegt also mehr als ein Maß Wasser von jeder anderen Temperatur; man sagt deshalb: das Wasser besitzt sein Maximum der Dichtigkeit bei 4 Grad. Auf Grund dieser Eigenthümlichkeit hat man zu dem Kilogramm das Gewicht eines Litres Wassers von dieser Temperatur gewählt.

Sauſſure, der berühmte Genfer Physiker, hat gefunden, daß die Temperatur auf dem Grunde tiefer Seeen stets 4 Grad behält in allen Jahreszeiten; die Ursache davon wissen wir jetzt. Während der Herbstnächte kühlt die Oberfläche der

Seeen ſich ab; wenn die oberſte Schicht 4 Grad erreicht hat, iſt ſie ſo dicht, als ſie irgend werden kann, und ſinkt auf den Grund, während eine andere ihren Platz einnimmt. Dieſe ſinkt, nachdem ſie 4 Grad erreicht, ebenfalls, u. ſ. f. Es entſteht dadurch eine niederſteigende Strömung von Waſſer, das 4 Grad beſitzt, und eine aufſteigende von wärmeren Theilen, ſo daß die Temperatur von der Oberfläche nach dem Grunde zu, wo ſie genau 4 Grad beträgt, abnimmt. Während des Tages erwärmen ſich die oberen Schichten, verlieren dadurch an Dichtigkeit und bleiben an ihrem Platz. Je weiter die Jahreszeit vorſchreitet, deſto überwiegender wird die nächtliche Abkühlung, und zu einem gewiſſen Zeitpunkte hat der See in allen ſeinen Tiefen die gleiche Temperatur von 4 Graden. Kommt nun der Winter, ſo kühlen ſich die oberen Schichten unter 4 Grad ab, verlieren wieder an Dichtigkeit und behalten daher wiederum ihren Platz. Die Temperatur wächſt von der Oberfläche, wo ſie etwa Null iſt, bis zum Grunde, wo man immer 4 Grad findet. Hat die Oberfläche Null, ſo gefriert das Waſſer langſam, es bilden ſich kleine Eisnadeln, die auf der Oberfläche ſchwimmen, weil ſie leichter als das Waſſer ſind; vom Winde hin und her getrieben, vergrößern ſie ſich durch das Gefrieren des Waſſers, das ſie berühren, und werden zu Eisſchollen, bis zuletzt den ganzen See eine einzige Eisfläche bedeckt. Sie bewahrt die unteren Schichten vor der Abkühlung, und dieſe behalten den ganzen Winter hindurch ihre Temperatur. Wenn die wärmere Jahreszeit kommt, ſchmilzt das Eis; ſo lange das Schmelzwaſſer auf Null ſteht, bleibt es an der Oberfläche; erſt nach fortgeſetzter Erwärmung erreicht es 4 Grad, ſo daß es auch im Frühjahr einen Moment giebt, wo der ganze Waſſerinhalt des Sees wieder die gleiche Temperatur von 4 Graden hat. Im

Sommer ſind die oberſten Schichten die wärmſten, und wenn der See recht tief iſt, ſo dringt die Sonnenwärme nie bis auf den Grund. Was die Erwärmung durch Leitung anbetrifft, ſo iſt dieſe äußerſt ſchwach, denn Waſſer iſt ein ſchlechter Wärmeleiter. Alles in Allem genommen, iſt demnach die Wärme, Dank dieſem Dichtigkeitsmaximum des Waſſers, in den Seeen und Meeren wie eingeſpeichert und unterhält das Leben einer unendlichen Menge von Thieren und Pflanzen, welche da weder große Hitze noch ſtarken Froſt zu fürchten haben.

Hier noch ein anderes Beiſpiel von der Wirkung des Dichtigkeitsmaximums. Auf einer Alpenreiſe bemerkte Rumford im Eiſe ein tiefes Loch voll Waſſer, und im Grunde unter dem Waſſer einen Stein. Dies brachte ihn auf folgende Erklärung der Erſcheinung. Im Anfang befand der Stein ſich auf dem Eiſe; durch die Sonnenſtrahlen erwärmt, welche er mehr als das Eis abſorbirt, macht er eine kleine Quantität Eis ringsum ſchmelzen. Das Schmelzwaſſer erwärmt ſich, bis es 4 Grad erreicht, und fällt auf den Grund der angefangenen Höhlung, woſelbſt es eine neue Quantität Eis zum Schmelzen bringt; das Loch vergrößert ſich, die unterſte Waſſerſchicht, welche jetzt an Dichtigkeit verloren hat, ſteigt wieder an die Oberfläche, wird abermals von der Sonne erwärmt, und ſinkt dann auf den Boden nieder, um das Werk der Schmelzung fortzuſetzen. Der Brunnen wird ſo allmählich gegraben durch die bloße Circulation des Waſſers, welches die Sonnenwärme von der Oberfläche auf den Grund trägt. Der Stein aber iſt auf dem Boden geblieben als Zeuge der Umſtände, welche die Aushöhlung des Brunens bewirkt haben.

Die Ausdehnung der feſten Körper durch die Wärme iſt

ſo unbedeutend, daß man, um ſie zu meſſen, beſondere Apparate hat conſtruiren müſſen. So verlängert ſich z. B. ein Eiſenſtab, der 1 Meter lang iſt, zwiſchen Null und 100 Gr. nur um wenig mehr als 1 Millimeter. Um dieſe Quantität zu beobachten, verfährt man wie folgt.

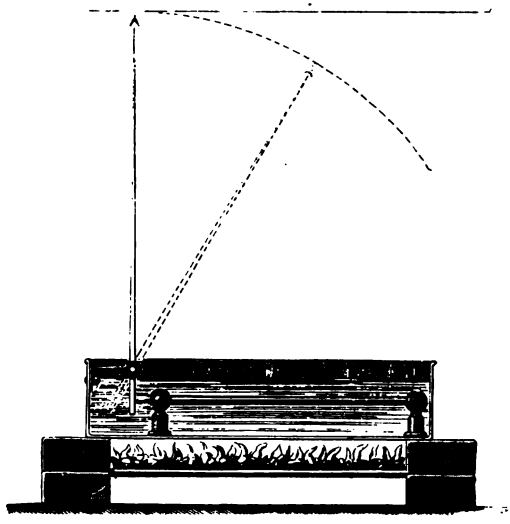


Fig. 54. Ausdehnung feſter Körper.

Ein Eiſenſtab von 1 Meter Länge wird derart in eine große Kufe placirt, daß eines ſeiner Enden auf eine unverrückbare Widerlage ſtößt; das andere an den kurzen Arm eines vertikalen Hebels ſich ſtützt (Fig. 54). Der größere Arm des Hebels hat tauſendmal die Länge des kleineren, und ſeine Spitze ruht auf einem getheilten horizontalen Lineal. Man legt rund um die Eiſenſtange Eis und notirt die Theilung, wo die Spitze ſteht. Darauf entfernt man das Eis, füllt die

Kufe mit Wasser und bringt dieses zum Sieden. Das Eisen erreicht so eine Temperatur von 100 Graden, drückt gegen den Hebel, und die Spitze desselben rückt auf der Theilung um 12 Decimeter weiter. Die Ausdehnung des Eisens beträgt den tausendsten Theil davon, d. h. 12 Zehntel eines Millimeters. Man erkennt mit Hilfe dieses Instruments, daß sie hundertmal so gering ist, wenn das Eisen nur um einen Grad erwärmt wird. Hieraus ergiebt sich, daß die lineare Ausdehnung des Eisens für jeden Centesimalgrad 12 Milliontel seiner Länge bei Null beträgt, oder daß sein Ausdehnungscoefficient 0,000012 ist. Für jede andere feste Substanz findet man einen andern Coefficienten (0,000008 für Glas, 0,000031 für Zink, 0,000017 für Kupfer u. s. w.).

Die verschiedene Ausdehnung der Metalle springt in die Augen, wenn man einen Stab erwärmt, der aus zwei Streifen verschiedener Metalle (z. B. aus Kupfer und Eisen) zu-

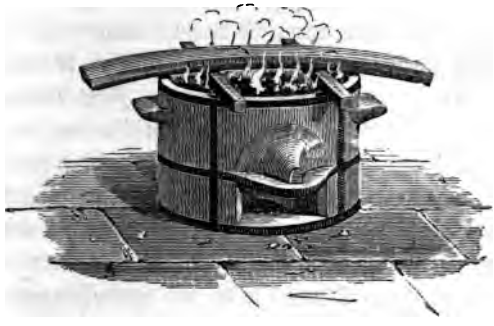


Fig. 55. Doppelstreifen aus Kupfer und Eisen.

sammengesetzt ist. Derselbe krümmt sich dann, und das Metall, welches sich am stärksten ausdehnt (Kupfer), bildet die convexe

Seite, wie Fig. 55 anſchaulich macht. Läßt man den Stab erkalten, ſo wird er wieder gerade. Setzt man ihn einem ſtarken Froſt aus, ſo krümmt er ſich nach der entgegengeſetzten Seite. Auf dieſer Beobachtung beruht das Breguet'ſche Thermometer und eine Art von Pyrometer.

Die Volumenänderung eines feſten Körpers iſt das Dreifache ſeiner linearen Ausdehnung. Das Volumen des Eiſens wächſt alſo für jeden Centeſimalgrad um 36 Millionteil ſeines Werthes; ein Cubikmeter Eiſen nimmt um 36 Cubikcentimeter zu, wenn ſeine Temperatur um 1 Grad erhöht wird, um $3\frac{6}{10}$ Cubikdecimeter zwiſchen 0 und 100 Grad, u. ſ. w.

4. Erklärung verſchiedener Erſcheinungen.

Im Jahre 1805 beobachtete Hütteninſpector Schwarz zu Hettſtädt folgende merkwürdige Erſcheinung. Eine heiße Silbermaſſe gab, als ſie auf einen Ambos gelegt wurde, einen orgelähnlichen Ton von ſich. Dieſelbe Beobachtung machte im Jahre 1829 Trevelyan, als er eines Tages einen heißen Löthkolben gegen einen kalten Bleiblock ſtützte. Robiſon hat den Verſuch folgendermaßen abgeändert. Zwei Bleiplatten, durch ein fingerdickes Brettchen getrennt, werden in einen Schraubſtock geſpannt (Fig. 56). Man erhitzt dann eine Feuerſchaufel und legt ſie querüber, ſo daß ſie auf dem Rande der einen Platte balancirt. Sie wiegt ſich dann hin und her, und man vernimmt einen Ton, der ſehr rein wird, wenn man den Stiel der Schaufel leicht mit einem Finger unterſtützt. Dieſer Verſuch erklärt ſich wie folgt.

Das Blei wird an einem ſeiner Punkte durch die Berührung mit der Schaufel erwärmt, dehnt ſich an dieſem Punkte aus und bildet plötzlich eine kleine Erhöhung, welche die

Schaufel ins Schwanken bringt; ſie fällt auf die zweite Platte, wo die nämliche Wirkung erfolgt, kehrt zu der erſten zurück und wiegt ſich ſo lange hin und her, als ſie warm genug

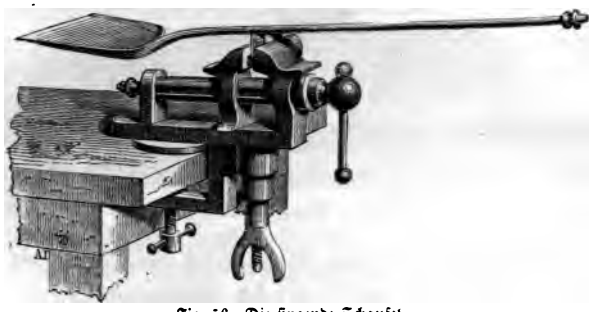


Fig. 56. Die ſingende Schaufel.

bleibt, um auf dem Blei, welches ſie berührt, eine genügende Erhöhung zu bilden. Dieſe Schwingungen pflanzen ſich durch die Luft bis an unſer Ohr fort und erregen hier die Empfindung eines Tones, der um ſo höher erſcheint, als die Schwingungen ſchneller auf einander folgen.

Gore hat ein anderes Experiment angegeben, das ſich auf dieſelbe Weiſe erklärt. (Fig. 57.)

Zwei Kupferſchienen ſind auf einer hölzernen Platte, mit einem Zwiſchenraum von zwei Centimetern derart aufgeſtellt, daß eine hohle Kupferkugel bequem darauf hinrollen kann. An einem Ende jeder Schiene befeſtigt man einen Kupferdraht und führt dieſe beiden Drähte bis an die Pole einer galvaniſchen Säule. Der elektriſche Strom circulirt durch die Schienen und die Kupferkugel und erwärmt die Stelle, an welcher beide ſich berühren, am ſtärkſten, weil er hier den größten Widerſtand trifft. Es bildet ſich eine Erhöhung, welche die Kugel aus dem Gleichgewicht bringt; ſie vibrirt

erſt ein Wenig und rollt dann fort, weil bei jedem neuen Berührungspunkte eine neue Erhöhung entſteht.

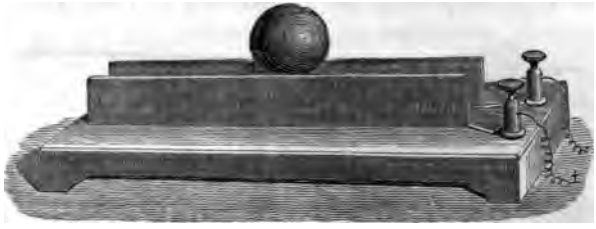


Fig. 57. Gore's Experiment.

Dehnen ſich alle feſten Körper durch die Wärme aus? Wir haben geſehen, daß Waſſer ſich zuſammenzieht bei einer Erwärmung von Null bis 4 Grad, und der Gedanke liegt nicht fern, daß es ſich mit feſten Subſtanzen ebenſo verhalten könnte. In der That iſt das bei Holz und einigen Erdarten der Fall; ſie ziehen ſich durch die Wärme zuſammen. Das rührt jedoch von dem Waſſer her, welches ihre Poren enthalten; wenn dieſes Waſſer in der Wärme verdampft, ſo rücken die feſten Theilchen näher zuſammen. Das Verhalten dieſer feſten Körper hat offenbar nichts mit dem des Waſſers bei 4 Grad gemein. Die angebliche Verkürzung des vulkaniſirten Kautſchuks durch die Wärme beruht auf ungenauen Beobachtungen.

5. Von der ſpecifiſchen Wärme.

Nehmen wir einen Eisblock und machen darin zwei Höhlungen, thun in die eine 1 Kilogramm Waſſer von 100 Grad und in die andere 1 Kilogramm Kupfer von der gleichen Temperatur. Nach Ablauf einiger Zeit werden wir finden, daß das von dem heißen Waſſer geſchmolzene Eis 1260 Gramm wiegt,

während die durch das Kupfer geſchmolzene Quantität zehnmal weniger beträgt.

Folglich giebt das Kupfer, indem es ſich um ebenſo viel Grade als ein gleiches Gewicht Waſſer abkühlt, zehnmal weniger Wärme ab. Und umgekehrt, wenn es bei gleichem Gewicht mit dem Waſſer denſelben Wärmegrad erreichen ſoll, wird es eine zehnmal geringere Wärmemenge verbrauchen.

Gießt man in eine Eishöhlung 1 Kilogramm Waſſer von 50 Grad (ſtatt 100 Grad), ſo findet man 630 Gramm geſchmolzenes Eis (ſtatt 1260 Gramm). Die Wärme, welche ein beſtimmtes Gewicht Waſſer abgiebt, wenn es ſich von 100 Grad bis Null abkühlt, iſt alſo doppelt ſo groß, als wenn es ſich von 50 Grad auf Null abkühlt. Um es kurz zu ſagen: der Wärmeverluſt iſt der Abkühlung, der Wärmeverbrauch der Erwärmung proportional.

Nennen wir eine Wärmeeinheit die Wärmemenge, welche erforderlich iſt, um 1 Kilogramm Waſſer von Null auf 1 Grad zu bringen, ſo ſind 2 Einheiten erforderlich, um es auf 2 Grad zu bringen, und 100 Einheiten, um es von Null bis 100 Grad zu erwärmen. Wird 1 Kilogramm Waſſer von 100 Grad auf Null abgekühlt, ſo giebt daſſelbe 100 Einheiten ab. So viel betrug die durch das heiße Waſſer in unſerem erſten Experiment befreite Wärme. Was das Kupfer anbetrifft, ſo gab dieſes zehnmal weniger ab; folglich erfordert 1 Kilogramm Kupfer, um von Null bis 1 Grad erwärmt zu werden, 1 Zehntel einer Wärmeeinheit. Dieſe Zahl nennt man die Wärmecapacität oder ſpecifiſche Wärme des Kupfers. Man kann in ähnlicher Weiſe die ſpecifiſche Wärme der übrigen Körper beſtimmen; diejenige des Waſſers wird dabei immer als Einheit angenommen.

Unter allen feſten Körpern und Flüſſigkeiten braucht das

Waſſer die meiſte Wärme, um bei dem gleichen Gewicht eine beſtimmte höhere Temperatur zu erlangen. Es iſt dies eine ſehr wichtige Eigenthümlichkeit.

Das Waſſer iſt uns bereits als ein großartiges Reſervoir für die Sonnenwärme erſchienen. Es giebt in der Natur keinen Körper, der bei einer beſtimmten Abgabe an Wärme eine ſo geringe Temperaturabnahme erleidet. Die Meeresſtrömungen, welche die Wärme vom Aequator nach den kälteren Gegenden tragen, kühlen ſich alſo auch weniger ab, als Strömungen jeder anderen Flüſſigkeit, und eignen ſich daher am beſten zur Milderung des Klimas dieſer Gegenden. Für einen Queckſilberocean wäre die Temperaturabnahme bei einem entſprechenden Wärmeverluſt 33 Mal ſo groß als für unſeren Waſſerocean.

Zwei franzöſiſche Phyſiker, Dulong und Petit, haben eine ſehr merkwürdige Beziehung zwiſchen der ſpecifiſchen Wärme eines Körpers und ſeiner chemiſchen Beſchaffenheit entdeckt. Das daraus folgende Geſetz wirft ein neues Licht auf die innere Structur der Materie. Die Chemie lehrt nämlich, daß ein Bleiatom ebenſo viel wiegt als drei Zinkatome; es zeigt ſich nun, daß umgekehrt die ſpecifiſche Wärme des Bleis nur $\frac{1}{3}$ von der des Zinks iſt. Aehnliche Beziehungen finden für alle anderen einfachen Körper ſtatt. Es ſcheint daraus hervorzugehn, daß jedes Atom dieſelbe Wärme braucht, um eine beſtimmte Temperatur zu erreichen. In der That, ein Bleiatom braucht $\frac{1}{3}$ der Wärme, welche daſſelbe Gewicht Zink braucht, d. h. $\frac{1}{3}$ der Wärme, welche drei Zinkatome brauchen, oder ebenſo viel als ein Zinkatom. Ebenſo verhält es ſich mit den übrigen Körpern. Wir kommen alſo zu dem Schluß, daß die Atomwärme oder ſpecifiſche Wärme der Atome eine für alle einfachen Körper conſtante Größe iſt.

Siebentes Kapitel.

Schmelzen und Festwerden.

1. Temperaturgesetz. — Die beim Schmelzen verbrauchte und beim Festwerden erzeugte Wärme.

Wir haben im zweiten Kapitel gesehen, daß ein Thermometer, in Eis gestellt, während der ganzen Dauer der Schmelzung stationär bleibt: die Schmelztemperatur des Eises ist also constant. Diese Eigenschaft besitzen alle festen Körper, welche zum Schmelzen gebracht werden können. Erwärmt man Schwefel in einem Glasgefäß (Fig. 58), und hält die Kugel eines Thermometers hinein, so sieht man das Queckſilber bis zu der Zahl 110 steigen, worauf die Schmelzung beginnt. Von diesem Augenblick an bleibt das Niveau stationär, bis der Schwefel fließt; erst nach vollständiger Schmelzung fängt es an zu steigen. Die Schmelztemperatur des Schwefels ist 110°.

Fig. 58. Schwefel, in einer Glaskugel schmelzend.

Und umgekehrt, nehmen wir geschmolzenen Schwefel von 120° und lassen ihn erkalten, so fällt das Thermometer anfangs und bleibt dann bei 110° stehen; es erscheinen kleine feste Nadeln an der Oberfläche und den Wänden des Gefäßes; der Schwefel wird fest, seine Temperatur bleibt während des ganzen Prozesses constant; sie ist die gleiche, wie die der Schmelzung. Erst nach vollständiger Erstarrung des Schwefels beginnt das Thermometer zu fallen.

Eine große Anzahl Substanzen zeigt dieselbe Erscheinung, nur hat jede ihre eigenthümliche Schmelzungs- oder Erstarrungstemperatur. So schmilzt das Bienenwachs bei 62°, Zinn bei 235°, Blei bei 332°, Gold bei 1200°.

Auch unschmelzbare Substanzen giebt es; einige, wie die Kohle, widerstehen den höchsten, bis jetzt bekannten Temperaturen; man sagt, sie sind feuerbeständig; die anderen, wozu Marmor, Bleiweiß, Holz gehören, werden durch die Hitze zerstört, weil sie aus nur schwach verbundenen Atomen bestehen. Die Zahl der Ersteren nimmt in dem Maaße ab, als es der Wissenschaft gelingt, höhere Temperaturen zu erzielen; was die Zweiten anbetrifft, so wird es möglich, einige derselben zu schmelzen, wenn man durch starke Compressen die Trennung ihrer Atome verhindert. Das ist mit dem Marmor gelungen, indem man ihn in einem Flintenlauf durch einen Schraubenpfropfen hermetisch verschloß. Unter diesen Umständen erwärmt, erfährt er zuerst eine theilweise Zersetzung in kohlensaures Gas und Kalk. Das in dem Lauf eingeschlossene Gas übt einen Druck auf den Marmor aus und hindert die Trennung seiner Atome; er kann alsdann schmelzen. Wenn man die Erwärmung lange genug ausgedehnt hat, so läßt man den Lauf abkühlen und findet bei

Oeffnung desselben Spuren von Schmelzung an dem festgebliebenen Material.

Will man eine Flüssigkeit durch Abkühlung in den festen Zustand überführen, so muß man eine dazu genügende Kälte hervorbringen. Das Quecksilber erstarrt bei 40°, und das Stickstoffoxydul bei 100° unter Null. Im neunten Kapitel werden wir erfahren, wie man diese Kältegrade künstlich erzeugen kann. Zu den Flüssigkeiten, deren Erstarrung bis jetzt nicht gelungen ist, gehört der Schwefelkohlenstoff, welcher bei der industriellen Bereitung des Kautschuks verwendet wird.

Die Schmelzung der festen Körper ist nicht immer eine so vollständige wie die des Eises oder Schwefels, welche tropfbarflüssig werden. Das Glas zum Beispiel erreicht bei sehr hoher Temperatur nur einen breiigen Zustand, in welchem es in den Glashütten zu Fäden ausgezogen, geblasen, gebogen, mit einem Worte auf die mannigfaltigste Weise verarbeitet wird. Eben so wird Alkohol bei der stärksten Abkühlung zähflüssig. Dieser Zustand erscheint nicht nur in der Nähe der Schmelztemperatur; er kann auch bei anderen Temperaturen auftreten; so wird z. B. Schwefel bei 200° dickflüssig.

Was bedeutet nun die Constanz der Schmelzungs- und Erstarrungstemperatur?

Wenn ein fester Körper schmilzt, so werden seine Moleküle durch die Wirkung der ihnen mitgetheilten Wärme getrennt; da sie aber durch innere Kräfte verbunden sind, so muß der Widerstand dieser Kräfte beseitigt, also eine innere Arbeit ausgeführt und Wärme verbraucht werden. Weil die Temperatur dabei constant bleibt, schließen wir, daß die dem schmelzenden Körper von außen zugeführte Wärme nicht als *fühlbare* Wärme in ihn übergeht, sondern daß sie in

mechanische Arbeit verwandelt wird. Diese Arbeit ist nur eine innere, wenn kein äußerer Druck auf die Oberfläche des Körpers ausgeübt wird, welcher die eine Schmelzung stets begleitende Volumenänderung hindert. Wenn dagegen ein solcher Druck existirt, z. B. der der Atmosphäre, so muß auch der äußeren Arbeit Rechnung getragen werden; gewöhnlich ist sie aber im Verhältniß zu der innern Arbeit sehr geringe, und man kann sagen, daß zu dieser Letzteren fast die ganze von außerhalb entnommene Wärmemenge verbraucht wird. Diese Quantität verbrauchter Wärme nannte man früher latente oder gebundene Wärme; da dieser Ausdruck aber zu dem Glauben führen könnte, als existire diese Wärme wirklich in dem Körper verborgen, so wollen wir sie lieber einfach Schmelzwärme nennen.

Bei dem entgegengesetzten Prozeß der Erstarrung erklärt sich die Constanz der Temperatur nun sehr leicht. Die flüssigen Moleküle hören, sobald sie die Schmelztemperatur erreicht haben, auf, durch die Wärme getrennt zu werden; die inneren Kräfte ergreifen die Herrschaft aufs Neue und führen die Substanz wieder in den festen Zustand über. Sie geben Arbeit aus und Wärme wird dadurch geschaffen; diese allmählich frei werdende Wärme verhindert die Abnahme der fühlbaren Wärme des Körpers, d. h. eine Temperaturerniedrigung. Während der Erstarrung muß die gleiche Wärmemenge frei werden, die bei der Schmelzung verbraucht wurde (die äußere Arbeit ungerechnet). Versuchen wir die Richtigkeit dieses Schlusses durch einige Experimente zu bestätigen.

Die Schmelzwärme des Eises ist bekannt. Um ein Kilogramm Eis von Null Grad zum Schmelzen zu bringen, muß man ein Kilogr. Wasser von 79° darüber gießen. Dieses Wasser kühlt sich bis Null ab; bei jedem Grad seiner Ab-

kühlung wird 1 Wärmeeinheit frei, folglich beträgt die zur Schmelzung 1 Kilogr. Eises verbrauchte Wärme 79 Wärmeeinheiten. Dasselbe Resultat würde man erreichen, wenn man 79 Kilogr. Wasser von 1 Grad hinaufgösse.

Nehmen wir eine große Quantität Bienenwachs, unterhalten dasselbe in festem Zustande auf 62°, und gießen darüber 44 Kilogr. Wasser von 63°; dieses Wasser wird sich zu 62° abkühlend, 44 Wärmeeinheiten abgeben, und wir finden, daß 1 Kilogr. Wachs geschmolzen ist. Also beträgt die Schmelzwärme des Wachses 44 Wärmeeinheiten, etwas mehr als die Hälfte von der des Eises.

Ebenso leicht ist es zu beweisen, daß bei der Erstarrung Wärme befreit wird. Blei schmilzt bei 332°. Unterhalten wir jetzt 1 Kilogr. Blei zuerst auf dieser Temperatur im festen Zustande, indem wir es, sobald diese Temperatur erreicht ist, nur mäßig wärmen, gerade so viel, daß es sich nicht abkühlen kann. Werfen wir das Blei nun in 1 Kilogr. Wasser auf Null, so steigt die Temperatur des Wassers auf 10 Grad; also hat das Blei bei seiner Abkühlung 10 Wärmeeinheiten abgegeben. Gießen wir aber 1 Kilogr. geschmolzenes Blei in 1 Kilogr. Wasser von 0°, so steigt die Temperatur auf 15 Grad. Warum nun diese 5° mehr als im ersten Experiment? Sie bedeuten, daß das geschmolzene Blei vor der Abkühlung in dem kalten Wasser erstarrte und dabei dieselbe Wärmemenge abgab, die es der Feuerung entnommen hatte, um zu schmelzen. Die Schmelzungs- oder Erstarrungswärme des Bleies beträgt also 5 Wärmeeinheiten, d. h. 16 Mal weniger als die des Eises.

Jede Substanz hat ihre eigenthümliche Schmelzwärme. Das Eis ist die Substanz, welche die meiste Wärme zum Schmelzen braucht, wie auch die, welche die größte Wärme-

capacität besitzt. Wenn deshalb im Winter der Frost anrückt, erhält der Boden dadurch, daß jedes Kilogr. Wasser, welches gefriert, 79 Wärmeeinheiten frei macht, eine Wärmeprovision, die die abkühlende Wirkung der Atmosphäre und der Himmelsräume mäßigt und ein plötzliches Sinken der Temperatur unter Null verhindert. Kommt Thauwetter, so nimmt das Eis zu seiner Schmelzung dieselbe Wärmemenge zurück und mäßigt dadurch wieder die erwärmende Wirkung der Sonne; es verhindert die Temperatur, schnell zu steigen, und trägt so in wasserreichen Gegenden zur Milderung des Klimas bei. Man kann sagen, daß das Wasser der natürliche Regulator der Wärme auf der Erdoberfläche ist.

Die Langsamkeit, mit welcher das Eis schmilzt, ist eine Folge der großen Wärmemenge, welche diese Substanz dazu nöthig hat. So ist auch eine Eisschicht auf der Oberfläche eines Körpers oft für ihn ein sehr wirksamer Schutz gegen die Wärme; so lange diese Schicht nicht ganz geschmolzen ist, kann die Temperatur des Körpers sich nicht über Null erheben. Ebenso bewahrt auch eine Wasserschicht vor Frost wegen ihres langsamen Gefrierens. Hüllt man einen Körper in nasse Leinwand, die man fortwährend benetzt, so kann er, dem stärksten Frost ausgesetzt, sich nicht unter Null abkühlen; das Wasser bildet langsam kleine Eisblättchen auf der Leinwand, indem es dabei ununterbrochen Wärme frei macht. Auf diese Weise werden organische Substanzen während des Winters vor Frost geschützt.

Im strengen Winter des Jahres 1740 construirte man in Petersburg aus dem Eise der Neva einen Palast und gab darin Feste. Die Oberfläche der Eiswände schmolz so spärlich, daß die dicken Mauern lange Zeit hindurch stehen blieben. Ebendaselbst verfertigte man aus Eis Kanonen, deren

Wände etwa 4 Zoll dick waren; ſie wurden weder durch Abſchießen eiſerner Kugeln geſchmolzen, noch durch die Exploſion des Pulvers geſprengt. In Sibirien gebraucht man dicke Eisplatten als Fenſter.

2. Innere Arbeit. — Kryſtalle. — Eisblumen.

Schmelzen wir Schwefel in einem Tiegel und laſſen ihn dann ohne Erſchütterung erkalten, ſo geht die Abkühlung ſehr langſam vor ſich; die Temperatur fällt erſt an der Oberfläche, dann an den Wänden des Gefäßes auf 110°; die Mitte bleibt noch flüſſig, während der Reſt zu erſtarren beginnt. Kleine Schwefelnadeln bilden ſich an der Oberfläche und kreuzen ſich in allen Richtungen. Entfernen wir dieſe Nadeln aus dem Mittelpunkt und ſtürzen das Gefäß um, ſo wird der flüſſige Theil ausgeleert; an den Wänden zeigt ſich eine Schicht von kleinen, gelben, durchſichtigen Nadeln, die alle nach dem Mittelpunkt gerichtet ſind. (Fig. 59.) Man nennt ſie Schwefelkryſtalle; ihre Oberfläche wird von ebenen, regelmäßig zu einander geneigten Flächen gebildet. Es herrſcht alſo ein beſtimmtes Geſetz in der Anordnung der Moleküle; wenn die Erſtarrung vor ſich geht, ſo arbeiten daran bewegende Kräfte, welche jedes Molekül an den vorgeſchriebenen Platz bringen. Durch die Bewegung der Moleküle unter dem Einfluſſe einer Kraft wird aber eine mechaniſche Arbeit geleiſtet; die Totalſumme dieſer molekularen Arbeiten iſt das, was wir früher die innere Arbeit genannt haben. Ihre Exiſtenz haben

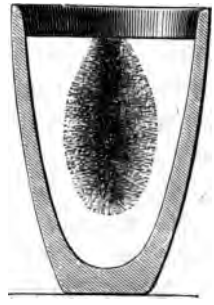


Fig. 59. Kryſtalliſation des Schwefels.

wir so eben bewiesen, indem wir sie während der Ausführung gehemmt und den inneren Zustand des Körpers in diesem Moment dem Blicke blosgelegt haben. Wäre dem Schwefel genügende Zeit zur Erkaltung gelassen worden, so hätte die Arbeit sich still vollzogen, verborgen durch die an der Oberfläche befindliche Schicht.

Nicht immer gelingt es so gut, die Körper durch Schmelzung zu krystallisiren. Oft sind die Krystalle sehr klein und in der Ausbildung gestört, so daß kaum eine Spur von Krystallisation zu erkennen ist; das ist z. B. der Fall, wenn die Flüssigkeit während der Abkühlung gerührt worden ist. Wieder ist es das Wasser, welches uns das schöne Beispiel dieser Erscheinungen bietet. Ist die Temperatur der Luft sehr niedrig, so schlägt sich das Wasser aus derselben in Form von kleinen regelmäßigen Krystallen nieder, welche sich entweder als feiner weißer Staub zeigen, oder eine so vollständige Durchsichtigkeit bewahren, daß wir sie mit dem Auge nicht wahrnehmen, sondern nur, wenn sie unsere Haut treffen, durch das Gefühl von ihrer Gegenwart unterrichtet werden; dieser letztere Zustand wurde von Barral und Bixio bei Gelegenheit einer Luftreise beobachtet. In feuchtere Luftschichten versetzt, verdichten diese Krystalle Wasser an ihrer Oberfläche und nehmen an Volumen zu. Es entstehen daraus allmählich die Schneeflocken. Der große Astronom Kepler war der Erste, welcher ihre mannigfaltigen Formen mit Sorgfalt studirte. Der Seefahrer Scoresby hat 96 Formen von Schneeflocken aufgezeichnet, und zur Zeit kennt man bereits viele Hundert. Alle bieten den Anblick eines sechsstrahligen Sternes mit symmetrischen Abänderungen (Fig. 60.)

Das Gefrieren des Wassers an der Erdoberfläche folgt demselben Gesetz; aber die Krystalle sind fest aneinander ge-

wachſen und bilden Eisſchollen. Ein ſehr intereſſanter Verſuch von Tyndall läßt uns in die Structur des Eiſes einen unerwarteten Einblick thun.

Fig. 60. Schneekryſtalle.

Man nimmt ein recht klares Stück Eis mit zwei natürlichen parallelen Flächen (es ſind die beiden, welche bei der Bildung des Eiſes eine horizontale Lage einnahmen und die Gefrierungsflächen genannt werden). Mit Hilfe eines Spiegels läßt man die Sonnenſtrahlen in horizontaler Richtung auf das Eisſtück fallen, parallel, zu den Gefrierungsflächen, und zwar (Fig. 61) durch eine Sammellinſe, deren Ort derart berechnet iſt, daß der Brennpunkt ſich im Innern des Eiſes bildet. Nun beobachtet man mit einem ſcharfen Vergrößerungsglas, was daſelbſt vorgeht.

An der Eintrittsſtelle der Sonnenſtrahlen zeigen ſich feine, faſt wie Blumen ausſehende, ſechsblättrige Sternchen ſehr nahe aneinander gedrängt; man kann dieſelben einen Zoll weit ins Innere verfolgen. Von da ab werden ſie immer weitläufiger. Man kann deutlich unterſcheiden, wie

jedes dieser Sternchen sich stufenweise bildet; zuerst entsteht ein glänzender Punkt, dann setzen sich Blätter an, diese

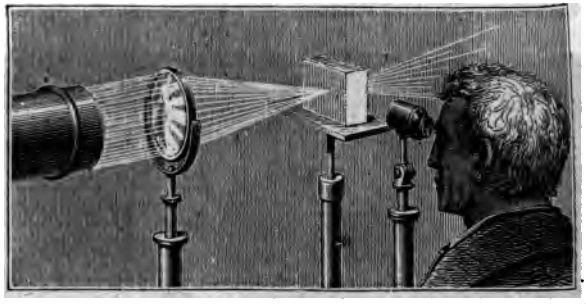


Fig. 61. Zergliederung des Eises durch Sonnenstrahlen.

dehnen sich allmählich aus und die Ränder werden zackig wie Farrenkraut. (Fig. 62.) Dies erklärt sich nun so: Die Sonnenstrahlen erwärmen das Eis. Die ersten Schichten absorbiren einen Theil der Wärmestrahlen, und je weiter diese vordringen, desto mehr werden sie geschwächt; in einer gewissen Tiefe muß die Wärmewirkung aufhören. Das Eis wird also im Eintrittspunkte des Strahlenbündels am stärksten erwärmt. Jeder glänzende Punkt, welcher erscheint, rührt von der beginnenden Schmelzung an der betreffenden Stelle des Eises her, und indem dieselbe zunimmt, wird aus dem Punkte ein Stern; die einzelnen Moleküle lösen sich der Reihe nach ab, und da sie ursprünglich als regelmäßige Fasern sich nach drei Hauptrichtungen ausbreiteten, so findet man auch jetzt in den Strahlen des flüssigen Sternes diese drei Richtungen angedeutet.

Wir unterscheiden das Schmelzwasser im Innern des Eises, weil es das Licht reflectirt; wir sehen im Mittelpunkt jedes Sternes einen metallglänzenden Kern, weil sich daselbst

ein Bläschen, ein leerer Raum bildet, und das kommt daher,

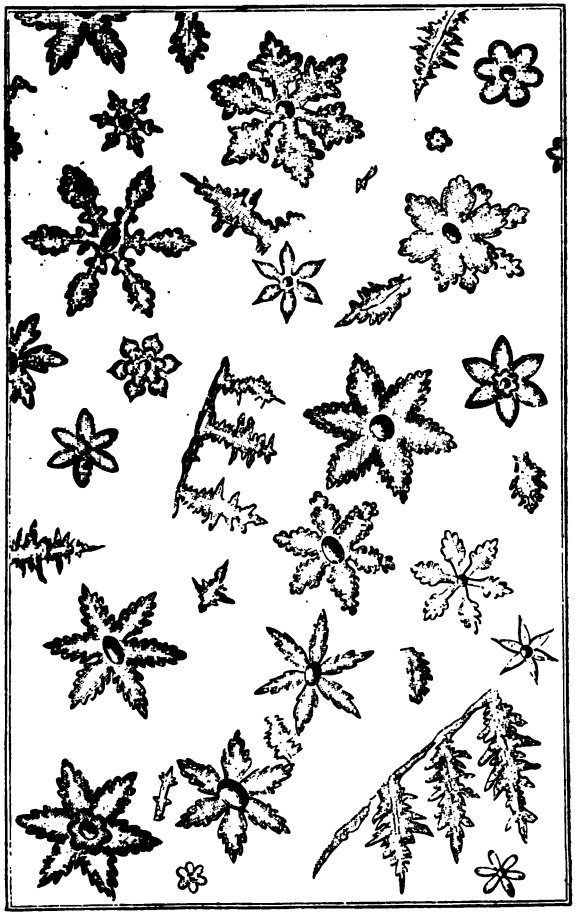


Fig. 62. Eisblumen.

weil das Schmelzwasser dichter ist und deshalb weniger Raum einnimmt, als das Eis, woraus es entstanden ist.

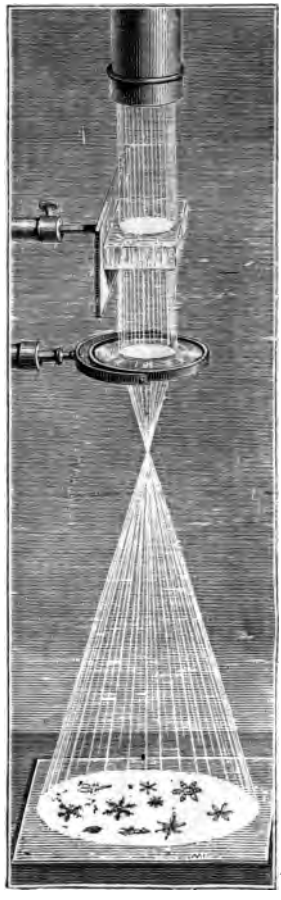


Fig. 63. Projection der Eisblumen.

Diese Bildung der Eisblumen kann man vielen Personen zugleich sichtbar machen, wenn man das Sonnenstrahlenbündel senkrecht zu den Gefrierungsflächen in das Eisstück einfallen läßt und auf der anderen Seite eine Linse derart placirt (Figur 63), daß das umgekehrte Bild auf einen weißen Schirm geworfen wird. Das Experiment muß in einem dunkeln Raum ausgeführt werden; die Sterne zeichnen sich dunkel auf hellem Grunde ab, weil das Wasser mehr Licht als das Eis absorbirt, und der leere Raum wird durch einen ganz weißen Punkt markirt, weil er gar kein Licht absorbirt.

3. Volumenänderung und äußere Arbeit. — Expansivkraft des Eises.

Die Volumenänderung beim Schmelzen resultirt aus einem neuen Arrangement, welches die Moleküle unter der Wirkung der Wärme annehmen, und die

Art dieſer Aenderung hängt von der Form der Moleküle ab. Man hat durchaus keinen Grund, von vornherein anzunehmen, daß ein ſchmelzender Körper ſein Volumen vergrößern muß. Die Erfahrung entſcheidet dieſe Frage, und unſer Urtheil kann uns hernach zu einigen Schlüſſen über die Form der Moleküle führen. Daraus, daß das Eis auf dem Waſſer ſchwimmt, ſchließen wir, daß es leichter iſt als Waſſer; hieraus folgt, daß es ſich beim Schmelzen zuſammenzieht, daß es dichter wird, daß ſein Volumen abnimmt. In der That füllt 1 Kilogr. Waſſer von Null Grad etwa 1000 Cubikcentimeter, 1 Kilogr. Eis aber 1075 Cubikcentimeter.

Beim Schmelzen des Schwefels findet das Gegentheil ſtatt. Die feſten Theile ſinken in der Flüſſigkeit unter, gehen zu Boden; ſie ſind alſo dichter als die flüſſigen Theile, und folglich dehnt der Schwefel ſich aus, wenn er ſchmilzt.

Die anderen ſchmelzbaren Körper verhalten ſich entweder wie das Eis: z. B. Wismuth, Gußeiſen, oder wie der Schwefel, und die Zahl der Letzteren iſt ſehr groß. Die Flüſſigkeiten der erſten Sorte dehnen ſich bei dem Prozeß der Erſtarrung aus, während Letztere ſich zuſammenziehen. Zu Abgüſſen eignen die Erſteren ſich am beſten, weil ſie beim Feſtwerden ſich ausdehnend alle Vertiefungen der Form genau ausfüllen und ſie ſo bis in die kleinſten Details treu wiedergeben.

Der Sinn, in welchem die Volumenänderung erfolgt, beſtimmt auch denjenigen der äußeren Arbeit, wenn der Körper auf der Oberfläche einen Druck empfängt. Vorhin haben wir dieſe Arbeit nicht beachtet, weil der Körper in der Atmoſphäre ſchmolz. Aber man kann ihn mit Hilfe paſſender Inſtrumente ſehr ſtarkem Druck unterwerfen, und alsdann hat dieſer Druck einen bedeutenden Einfluß auf die Schmelz-

Handelt es sich um Eis, so wird während der Zusammenziehung äußere Arbeit verbraucht und Wärme geschaffen. Diese Wärme wird zur Schmelzung eines Theiles des Körpers verwendet; folglich dient die Wärme, welche von außerhalb hinzukommen soll, nur zur Schmelzung des Restes; sie ist geringer, als wenn das Eis nicht comprimirt wäre. Man kann darum sagen, daß comprimirtes Eis leichter schmilzt als gewöhnliches, und daß seine Schmelztemperatur nicht Null ist. Das Experiment lehrt in der That, daß wenn man Eis stark comprimirt, das Thermometer unter Null steht, während das Eis zu schmelzen beginnt. Mousson hat es mit einem Druck von einigen tausend Atmosphären bei 18° unter Null schmelzen sehen.

Handelt es sich dagegen um Wachs, welches sonst bei 63° schmilzt, indem es sich dabei ausdehnt, so wird die äußere Arbeit durch die Expansivkraft der Moleküle, welche den äußeren Druck überwindet, geleistet, und diese Arbeit verbraucht Wärme. Folglich muß die von außen kommende Wärmemenge theilweise zu dieser Arbeit dienen, während der Rest zu der inneren Arbeit verwendet wird. Man kann also sagen, daß comprimirtes Wachs schwerer als gewöhnliches schmilzt, und annehmen, daß die Schmelztemperatur hier mehr als 63° betragen muß. Dies hat auch Bunsen beobachtet.

Man kann sich leicht vorstellen, was bei der Erstarrung der Flüssigkeiten vor sich geht, wenn man auf die äußere Arbeit Rücksicht nimmt. Man darf nur den Sinn der Wirkungen umkehren.

Wir finden einen neuen Beweis für die Größe der inneren Kräfte in der mechanischen Wirkung, welche die Ausdehnung fester oder flüssiger Körper bei der Veränderung ihres

Aggregatzustandes hervorbringen kann. Versucht man z. B. Schwefel in einem hermetisch verschlossenen Gefäß zu schmelzen, so springt das Gefäß. Füllt man eine Röhre aus geschmiedetem Eisen mit Wasser, verschließt sie gut mit einem Schraubpfropfen und setzt sie starkem Frost aus, so dehnt sich das gefrierende Wasser mächtig aus und die Röhre spaltet sich krachend der ganzen Länge nach.

Artilleriemajor William zu Quebek füllte eine Bombe von 35 Centimeter Durchmesser mit Wasser, schloß sie mit einem fest hineingetriebenen Eisenpfropfen und setzte sie starkem Frost aus. Der Pfropfen wurde nach einiger Zeit über 150 Schritt weit fortgeschleudert, und aus der Oeffnung trat ein Eiscylinder von 22 Centimeter Länge heraus. Ein zweites Mal widerstand der Pfropfen; die Bombe wurde ihrem ganzen Umfange nach gespalten und ein dicker Eiskranz trat aus der Oeffnung heraus. (Fig. 64.)

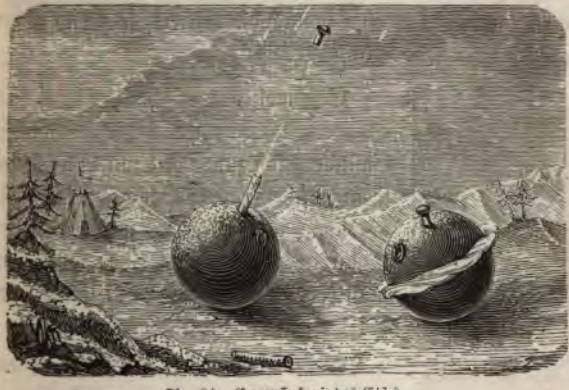


Fig. 64. Expansivkraft des Eises.

Nach diesen Beispielen kann man sich denken, wie schädlich die Wirkungen des Frostes werden können. Im Winter

werden oft Abzugsröhren und Gefäße durch das in ihnen gefrierende Wasser gesprengt. Durchnäßte Erde dehnt sich beim Gefrieren sehr stark aus und ist im Stande, Häuser aufzuheben; gewisse poröse Steine bersten, wenn das in ihnen enthaltene Wasser gefriert; Bäume zersplittern mit lautem Knall, wenn ihre Gefäße schon mit Saft angefüllt sind und dann noch einmal starker Frost kommt. Beim Erfrieren der Pflanzen spielt diese Wirkung wohl auch eine Rolle, obgleich es nach einigen mit Wasserpflanzen angestellten Versuchen scheint, als ob sie nicht gerade eine nothwendige Ursache ihrer Zerstörung sei.

Wasser, welches in einem offenen Gefäß einfriert, kann den Boden desselben zerbrechen. Das erklärt sich folgendermaßen: Bei strengem Frost bildet das Eis sich sehr schnell an der Oberfläche des Wassers und drückt sich fest an die Wände gleich einem Pfropfen. Das Wasser ist also abgesperrt, und wenn es nun vollständig gefriert, so treibt es den Boden heraus (Fig. 65).

Fig. 65.
Gefrieren des Wassers in einem offenen Gefäß.

Geschmolzenes Wachs zieht sich beim Festwerden zusammen. Füllt man ein Cylindergefäß zum Theil mit Wasser und gießt geschmolzenes Wachs darüber, so schwimmt dieses oben auf und bildet beim Erstarren einen Kuchen, der die Wände nicht berührt und daher von selbst herausfällt, wenn man das Gefäß umstürzt.

Wenn eine kleine Wasserschicht auf unebenem Boden ihrer ganzen Tiefe nach gefriert, so zeigen sich an den tiefsten Stellen Erhöhungen auf dem Eise. (Fig. 66.) Das liegt daran, daß ein größeres

Volumen Wasser auch eine größere Ausdehnung erleidet und daß das Wasser sich am leichtesten nach Oben ausdehnt.

Fig. 66. Gefrieren des Wassers auf unebenem Boden.

4. Das Wiederfrieren (Regelation.) — Die Gletscher.

Hat man in einem Teller mehrere Eisstücke und drückt zwei derselben mit den Händen aneinander, so frieren sie zusammen. Preßt man ein drittes Stück an das zweite, so friert auch dieses an, und so kann man sämmtliche Stücke zu einem Ganzen verbinden und diesem alle nur möglichen Formen geben. Man nennt diese Erscheinung Regelation (Wiederfrieren). Faraday war der Erste, der die Aufmerksamkeit der Gelehrten auf Erscheinungen dieser Art lenkte, und Tyndall hat in den letzten Jahren ein förmliches Studium daraus gemacht. Wir verdanken ihm folgendes Experiment, welches viel Aehnlichkeit mit dem vorigen hat.

Man füllt eine Form aus Buchsbaumholz mit zerstückeltem Eis und setzt sie einem starken Druck aus; dadurch erhält man einen zusammenhängenden, transparenten Eisblock (Fig. 67) von der Form der Höhlung. Mit passenden Formen kann man auf diese Weise alle möglichen Figuren herstellen, Kugeln, Linsen, Schalen, Statuetten u. dergl.

Die Erklärung dieses letzten Experiments ist in den Wirkungen der Compression zu suchen. Wir haben gelernt, daß

zusammengedrücktes Eis schon unter Null schmilzt; wenn daher zwei Eisstücke bei 0° in der Form zusammengepreßt

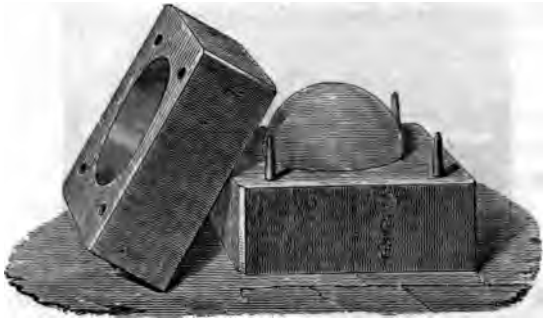


Fig. 67. Formung des Eises.

werden, so schmelzen sie im Berührungspunkt; das Schmelzwasser, welches kälter als Null ist, verbreitet sich in den von den Eisstücken gebildeten Zwischenräumen, und da es hier aufhört gedrückt zu sein, beginnt es wieder zu gefrieren. Der Zusammenhang der Masse wird so stufenweise hergestellt. Die beiden Facta, auf welche dieser Schluß sich stützt, sind richtig: Wasser, bei 0° stark comprimirt, kann sich nicht in festem Zustande befinden; nicht comprimirtes Wasser unter Null kann nicht flüssig bleiben. Aber wenn diese Thatsachen bei dem Wiederfrieren im Innern der Form eine Rolle spielen, so kommen sie bei dem ersten Experiment wenig in Betracht, wo der Druck der Hände nur eine vollständige Berührung der beiden Flächen bezweckt und schwerlich dazu beitragen konnte, die Schmelztemperatur merklich zu erniedrigen.

Eine Beobachtung von Tyndall wird uns eine der Hauptursachen des Wiederfrierens bei einfachem Contact aufklären. Er nahm ein Eisstück, welches natürliche Zellen

enthielt, in denen man Wasser und Luftblasen unterscheiden konnte. (Fig. 68 A). Als er dieses Eisstück in warmes Was-

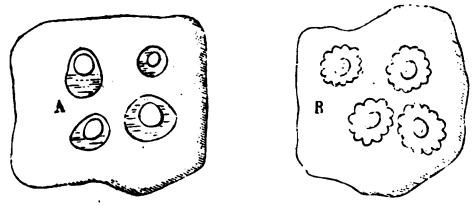


Fig. 68. A und B Eiszellen.

ser tauchte und aufmerksam beobachtete, sah er, daß die Zellen bedeutend an Volumen abnahmen, während ihre Eishülle schmolz, und daß aus jeder derselben eine kleine Luftblase aufstieg, die bedeutend verkleinert an der Oberfläche des warmen Wassers anlangte. Es läßt sich daraus schließen, daß die Flüssigkeit in der Zelle von der Schmelzung des Eises herrührt, welches ursprünglich die Luftblase umgab; durch eine Zusammenziehung hat dasselbe einen leeren Raum gelassen, in welchem die kleine Luftblase sehr verdünnt zurückgeblieben ist.

Wie kann nun aber die Schmelzung rund um eine Luftblase stattfinden, während das übrige Eis in festem Zustande verharrt? Um diese Frage zu lösen, setzte Tyndall ein dem vorigen ähnliches Eisstück einem sehr strengen Frost aus; die flüssige Partie in der Zelle gefror, und die Luftblase nahm an Volumen ab, was die vorigen Schlüsse bestätigt. Darauf brachte er das Stück in ein dunkles, warmes Zimmer. Nach Ablauf einiger Stunden erschien die flüssige Partie wieder in den Zellen. Daraus geht hervor, daß die Wärme durch Leitung in das Eis dringen und die Wände der Zellen schmelzen kann.

Endlich setzte Tyndall ein derartiges Eisstück auch der Wärmestrahlung des Feuers aus. Die Schmelzung ging rund um jede Luftblase sehr schnell vor sich und die Ränder der Zellen zackten sich regelmäßig aus (Fig. 68 B). Mit dunkler Wärmestrahlung konnte er nicht dieselben Effecte erzielen. Die Schmelzung im Innern des Eises wird also auch durch Strahlung leuchtender Wärme befördert.

Wir folgern aus diesen Beobachtungen, daß die Wärme in das Innere des Eises entweder durch Leitung oder Strahlung eindringen und die mit der Luftblase in Berührung stehenden Theile schmelzen kann, während die übrigen fest bleiben. Dies kommt daher, daß die Eistheilchen, welche frei an der Luft liegen, weniger in ihren Bewegungen gehindert sind, als die, welche sich mitten im Eise befinden. Wenn die Wärme das Eis trifft, so wirkt ein Theil davon an der Oberfläche, der andere pflanzt sich bis zu den Luftblasen fort und übt erst hier seine Wirkung aus, gerade wie ein Stoß gegen eine Reihe sich berührender Kugeln erst die letzte in Bewegung setzt; jede Kugel überträgt den Antrieb auf die folgende, ohne ihren Platz zu ändern, und nur die letzte wird fortgeschleudert, weil ihr kein Hinderniß im Wege steht. Die Schmelzung fester Körper geht also an der Oberfläche und den Stellen, wo eine Unterbrechung des Zusammenhangs stattfindet, leichter vor sich, als im Innern der Masse, ganz so, als ob die Schmelztemperatur an der Oberfläche niedriger wäre, als im Innern.

Legt man daher zwei Stücke Eis dicht zusammen, so üben die beiden Oberflächen eine hindernde Wirkung auf einander aus; ihre Theilchen verlieren die freie Beweglichkeit, weil sie sich jetzt im Innern befinden, und bleiben so lange

fest, bis die genügende Wärme sie erreicht und ihre Temperatur über Null erhöht.

Die Knaben, welche Schneekugeln zusammenbacken, wiederholen dieses Experiment. Die Schneeflocken verhalten sich wie kleine Eisschollen, die mit ihren Oberflächen aneinander wachsen; die Hand zerbricht sie und verändert ihren Platz; sie frieren wieder zusammen und so wird aus dem leichten flockigen Schnee ein harter Körper, mit dem die Kinder sich die Köpfe wund schlagen können.

Reisende, welche die Gletscher der Alpen besuchen, begegnen einem tiefen Spalt: sie raffen den am Rande des Abgrundes befindlichen Schnee zusammen, bilden daraus eine Brücke und besteigen vorsichtig dieses improvisirte Bauwerk. Der gefrorne Schnee beugt sich unter ihrem Gewicht; die Theile trennen sich und gefrieren von neuem und die comprimirte Masse wird so hart, daß der Uebergang ohne Gefahr bewerkstelligt werden kann.

Auf dem Gipfel der Berge verdichtet der Wasserdampf der Atmosphäre sich zu Schnee, der in ungeheuern Massen liegen bleibt. Oft stürzen Lawinen mit donnerähnlichem Krachen die Abhänge hinunter und füllen die Thäler; zuweilen gleiten die Schneemassen auch langsam herab und ballen sich am Fuße der Abhänge zusammen. Dadurch, daß sie sich comprimiren, wird die zwischen den Schneeflocken eingeschlossene Luft ausgetrieben und der Firnschnee wird immer körniger und schwerer. Allmählich rücken die aufgethürmten Massen in die tiefen Thäler herunter. Hier beginnen sie zu schmelzen, das Wasser sickert hinein und gefriert von neuem in den tieferen Lagen. So verwandelt der Firnschnee sich in Eis, welches die Gletscher bildet. Von ihrer Schwere angetrieben, gleitet die Masse unaufhaltsam ab-

wärts zwiſchen Felswänden hindurch, deren Widerſtand unaufhörlich Riſſe und Spalten veranlaßt, aber die getrennten Eisblöcke frieren ſofort wieder zuſammen, wie wir das im Kleinen beobachtet haben, und ſo kommt es, daß der Gletſcher eine zuſammenhängende Maſſe bleibt. Man hat gefunden, daß die Gletſcher im Durchſchnitt täglich um 1 bis 2 Fuß abwärts rücken. In den Thälern angelangt, erwärmen ſie ſich, ſchmelzen an der Oberfläche und in der Tiefe und werden zur Quelle eines Fluſſes. Eine ununterbrochene Bewegung führt neue Eismaſſen zu, die ſtufenweiſe ſchmelzen, während die auf dem Gipfel ſich anhäufenden Schneemaſſen die ſchmelzenden erſetzen. Die Gletſcher befinden ſich alſo unterhalb der Schneegrenze, und über ihnen liegt der Firnſchnee, welcher ſie unterhält.

Um die Geſchmeidigkeit zu erklären, mit welcher die Gletſcher ſich der Form der Thäler anpaſſen, durch welche ſie gleichſam abfließen, nahm man bisher an, das Eis ſei ein plaſtiſcher Stoff, wie geweichter Thon; aber die richtige Erklärung dieſer Erſcheinungen liegt jedenfalls in dem Wiederfrieren der zerbrochenen Eisblöcke.

Achtes Kapitel.

Verdunſtung und Sieden.

1. Verdunſtung an der Oberfläche feſter Körper und Flüſſigkeiten.

Einige feſte und viele flüſſige Subſtanzen ſind flüchtig: an ihrer Oberfläche bilden ſich Dämpfe, deren allgemeine Eigenſchaften die der Gaſe ſind, nämlich: Expanſibilität und Compreſſibilität. Vermöge der erſteren ſuchen ihre Theilchen ſich von einander zu entfernen; vermöge der zweiten laſſen ſie ſich ſehr leicht wieder zuſammendrücken und nehmen dann ein kleineres Volumen ein.

Man bemerkt die Verdunſtung gewöhnlich nur, wenn der Dampf irgend eine charakteriſtiſche Wirkung auf unſere Sinne übt. Bleibt ein Stück Kampher in einem Flacon verſchloſſen, ſo iſt es auf den erſten Blick nicht möglich ſeine Verdunſtung zu conſtatiren, öffnen wir aber den Pfropfen, ſo zieht der eigenthümliche Geruch dieſer Subſtanz in unſere Naſe ein und wir ſchließen daraus, daß ſich kleine Theilchen verflüchtigt haben. Betrachten wir jedoch aufmerkſamer den Flacon; wenn er recht geräumig iſt und der Kampher ſich bereits einige Zeit darin befand, ſo bemerken wir an einigen Stellen einen leichten Niederſchlag, aus kleinen, glänzenden Theilchen be-

OTTENDORFER BRANCH

ſtehend. Stellen wir den Flacon mit dieſer Seite ans Feuer; ſogleich ſehen wir den Niederſchlag verſchwinden und ſich auf der gegenüber liegenden Seite des Flacons aufs Neue bilden. Wenn die Wärme bis zu dem am Boden befindlichen Kampherſtück vordringt, ſo vermehrt der Niederſchlag an der kalten Wand ſich ſchnell; die kleinen glänzenden Theilchen wachſen zu Kryſtallen an, und gleichzeitig nimmt das Kampherſtück an Volumen ab. Mit einer kleinen Wage können wir uns davon überzeugen, daß das Stück an Gewicht verloren hat, und daß dieſer Verluſt genau das Gewicht der an der Wand befindlichen Kryſtalle beträgt.

Die Wärme verflüchtigt alſo den Kampher, führt ihn in den gasförmigen Zuſtand über; die Abkühlung macht ihn wieder feſt. Wir haben hier wieder zwei entgegengeſetzte Verwandlungen, wie beim Schmelzen und Erſtarren der Flüſſigkeiten.

Man kann dieſen Verſuch in derſelben Art mit einer großen Anzahl feſter Körper wiederholen. Mit dem Jod, einer braunen Subſtanz von penetrantem Geruch kann man den Prozeß ſehr deutlich machen, weil der Dampf dieſer Subſtanz violett gefärbt iſt. Wirft man ein Stück Jod in den Flacon und nähert ihn dem Feuer, ſo erfüllen die Dämpfe nach und nach das ganze Gefäß, worauf ſie an den kälteren Theilen der Wand kleine braune Kryſtalle bilden. Stellt man die Erwärmung ein, ſo verſchwindet der Dampf allmählich und man behält nur einen Theil des Jods am Boden, während der Reſt als kryſtalliniſcher Niederſchlag die Wand bedeckt.

Die Flüſſigkeiten bieten die zahlreichſten Beiſpiele von Verdampfung.

Setzen wir einen Topf mit Waſſer ans Feuer, ſo bilden ſich nach Ablauf einer gewiſſen Zeit kleine Dampfwölkchen

an der Oberfläche. Eigentlich bestehen die Wölkchen nicht aus Dampf, sondern aus einer großen Menge kleiner Wassertropfen, welche man z. B. mit einer Glasscheibe sammeln kann, an deren Oberfläche sie eine flüssige Schicht bilden. Die Erscheinung ist ganz dieselbe, wie vorhin beim Kampher. Unter dem Einfluß der Wärme trennen sich die an der Oberfläche befindlichen Wassertheilchen und zerstreuen sich in der Luft nach allen Richtungen im Zustande von unsichtbarem Gas. In einer gewissen Höhe begegnen sie aber kälteren Luftschichten, sammeln sich von neuem, und bilden kleine Wassertröpfchen, die uns als leichtes Gewölk erscheinen. Wir können aus dieser Beobachtung schließen, daß Wärme das Wasser in Dampf auflöst, und Kälte den Dampf wieder verdichtet.

Ist es nöthig, daß die Wärme eines Feuers auf das Wassers einwirkt, damit es auf der Oberfläche verdunstet? Wir werden sehen, daß dem nicht so ist.

Das Dampfwölkchen scheint über dem siedenden Wasser stationär zu bleiben. Wenn im Zimmer kein Luftzug vorhanden ist, so schwebt es leise hin und her, ändert die Form, verschwindet an einem Punkt und zeigt sich an einem andern wieder; es macht den Eindruck eines leichten, sehr beweglichen Körpers, der in der Luft schwimmt. Sehen wir ein wenig genauer hin. Die Wölkchen steigen in Wirklichkeit auf, verschwinden unsern Blicken, und neue, anders geformte nehmen ihre Stelle ein. Es ist eine ununterbrochene Aufeinanderfolge kleiner Wassertröpfchen, die fast an dem nämlichen Platze entstehen, weshalb sie den Anschein einer stationären Wolke haben.

Sobald ein Wassertröpfchen durch die Abkühlung des Dampfes gebildet ist, steigt es, von dem über dem Topfe

aufſteigenden Luftzug entführt, in die Höhe. Der Luftzug rührt von der Erwärmung der Luftſchichten her, welche der Oberfläche des Waſſers zunächſt ſind, und von der Vermiſchung des Dampfes mit dieſen Schichten, zwei Umſtände die ihre Dichtigkeit vermindern. In anderen, trocknern Luftſchichten angelangt, verdunſten die Tröpfchen und löſen ſich in unſichtbares Gas auf, das ſich wiederum mit der Luft vermiſcht; ſo ſcheinen ſie gänzlich verſchwunden. Je weniger die Luft des Zimmers trocken iſt, deſto höher ſteigen die Tröpfchen, ehe ſie verdunſten und um ſo dünner erſcheint das kleine Gewölk. Wäre die Atmoſphäre ſehr feucht und ganz ruhig, ſo könnte ſich eine Säule von Waſſertröpfchen bilden, die bis zur Decke des Zimmers aufſteigen, um ſich hier zu verdichten.

Wir müſſen hieraus ſchließen, daß *Waſſer in trockener Luft von ſelbſt verdunſtet*, ohne von der Wärme dazu angetrieben zu werden, und einige Verſuche werden dies beſtätigen. Sie ſind übrigens unentbehrlich zur Ausdehnung unſeres Schluſſes auf alle Flüſſigkeiten. Die Beobachtung, die wir eben mit dem Waſſer angeſtellt, wäre nicht bei allen Flüſſigkeiten möglich, weil die Tröpfchen, welche der verdichtete Dampf bildet, nicht immer ſichtbar ſind. Um ſie wahrnehmen zu können, bedarf es des Zuſammentreffens verſchiedener Umſtände, und ſelbſt der Waſſerdampf ſchlägt ſich nicht immer als Nebel nieder, wie wir dies bei Gelegenheit des Abendthaus geſehen haben.

2. Spannkraft der Dämpfe. — Papin'ſcher Topf.

Da die Expanſibilität eine Haupteigenſchaft der Gaſe und Dämpfe iſt, ſo iſt vorauszuſehen, daß eine flüchtige Subſtanz, in einen luftleeren Raum gebracht, denſelben ſogleich vollſtändig erfüllen und einen Druck auf die Gefäßwände üben

wird. Dies beſtätigt ein einfaches Experiment mit dem Fig. 69 dargeſtellten Apparat. Derſelbe beſteht aus einem Glasgefäß, welches durch einen Hahn mit der Luftpumpe in Verbindung geſetzt werden kann, und einem zweimal gebogenen Glasrohr, in welchem ſich Queckſilber befindet. Iſt alle Luft ausgepumpt und der Hahn geſchloſſen, ſo ſteigt das Queckſilber in dem einen Schenkel des Glasrohrs auf 760 Millimeter, wie im Barometer, und hält dem atmoſphäriſchen Druck, der in dem offenen Schenkel wirkt, das Gleichgewicht. Hierauf ſetzt man einen Trichter über den Hahn, füllt ihn mit einer Flüſſigkeit, z. B. mit Aether, öffnet vorſichtig den Hahn und läßt eine gewiſſe Quantität davon in das Gefäß fließen, worauf man es augenblicklich verſchließt. Nehmen wir an, daß die eingeführte Quantität ſehr klein ſei: keine Spur von Flüſſigkeit wird in dem Reſervoir erſcheinen, Alles verwandelt ſich ſofort in Dampf, und das Queckſilber fällt in der Röhre. Daſſelbe wird augenſcheinlich durch den Aetherdampf niedergedrückt. Die Spannkraft dieſes Dampfes iſt alſo bewieſen, und ihr Maaß iſt die Depreſſion der Queckſilberſäule, die z. B. 160 Millimeter beträgt, wenn das Queckſilber von 760 auf 600 gefallen iſt. Führt man noch eine kleine Quantität Aether bei einer Temperatur von 15 Grad in das Reſervoir ein, ſo ſieht man die Höhe der

Fig. 69. Verdampfung der Flüſſigkeiten.

Säule wiederum abnehmen und ſchließt daraus, daß die Spannkraft des Dampfes zugenommen hat. So lange das Queckſilber nicht auf 400 Millimeter gefallen iſt, zeigt ſich keine Spur von Flüſſigkeit in dem Gefäß; iſt aber dieſes Niveau erreicht (beträgt alſo die Spannung 350 Millimeter), ſo fällt jede neu hinzugefügte Aetherquantität in flüſſigem Zuſtande nieder. Eine beſtimmte Menge Aetherdampf ſättigt alſo den gegebenen Raum; die Spannkraft des Dampfes hat ihren höchſten Grad erreicht und kann nicht mehr ſteigen. In unſerem Beiſpiel kommt dieſe Spannkraft dem Drucke einer Queckſilberſäule von 35 Centimeter Höhe gleich.

Wie das Reſervoir durch eine beſchränkte Quantität des Dampfes geſättigt wird, kann man ſich erklären, wenn man bedenkt, daß die Theilchen an der Oberfläche einer flüchtigen Subſtanz ſich von einander zu entfernen ſtreben mit einer gewiſſen Kraft, die aber ſelbſt beſchränkt iſt. Wenn der entſtandene Dampf eine hinreichende Spannung beſitzt, ſo hält dieſe der an der Oberfläche wirkenden Expanſionskraft das Gleichgewicht und die Verdampfung hört auf.

Der eben beſchriebene Verſuch kann mit allen flüchtigen Flüſſigkeiten angeſtellt werden. Die Reſultate differiren nur in den Höhen des Queckſilbers, welche die Spannkraft der Dämpfe meſſen.

Die Quantität Dampf, welche ein gegebener Raum enthalten kann, iſt dieſem Raume proportional; ein Behälter von 2 Liter kann zweimal ſo viel aufnehmen, als einer von 1 Liter. Wenn man die Flüſſigkeit aufs Gerathewohl in ein leeres Reſervoir einführt, ſo können drei Fälle vorkommen: entweder die Quantität iſt genau diejenige, welche das Reſervoir ſättigen kann, dann löſt ſie ſich vollſtändig in Dampf

auf; oder ſie iſt zu klein und ſättigt den Raum nicht; oder aber ſie iſt zu groß, und es bleibt ein Ueberſchuß von Flüſſigkeit in dem Reſervoir zurück, welches in dieſem Falle aber keineswegs mehr Dampf enthält, als im erſten. Die Spannkraft des Dampfes iſt im erſten und dritten Falle dieſelbe, im zweiten geringer. Darum ſagt man: die Spannkraft eines Dampfes hat ihr Maximum erreicht, wenn der ihn einſchließende Raum geſättigt iſt, und dies iſt der Fall, wenn der Dampf mit einem Ueberſchuß ſeiner Flüſſigkeit in Berührung ſteht.

Für dieſelbe Flüſſigkeit ſteigt aber das Maximum der Dampfſpannung mit der Temperatur; ebenſo die Dampfmenge, welche die Raumeinheit (z. B. einem Cubikmeter) ſättigt. Wir nahmen die Temperatur des Aethers vorhin zu 15 Grad an, und fanden eine Spannkraft von 35 Centimeter; bei 20 Grad hätten wir 43 Centimeter gefunden, bei 35 Grad 76 Centimeter, d. h. eine Spannkraft gleich dem atmoſphäriſchen Druck; das Queckſilber wäre alſo in den beiden Schenkeln der Röhre gleich hoch geſtanden. Bei 40 Grad beträgt die Spannung des Aetherdampfes ſchon 91 Centimeter, bei 60 Grad 173 Centimeter; das Queckſilber wäre alſo reſpective 15 und 97 Centimeter unter das Niveau des offenen Schenkels gefallen, wenn die Röhre lang genug geweſen wäre.

Sehr hohe Spannkräfte berechnet man nach Atmoſphären, d. h. man giebt an, wie viel mal 76 Centimeter ſie betragen.

Für Waſſerdampf giebt folgende Tabelle das Maximum der Spannkraft und die Dampfmenge, welche 1 Cubikmeter ſättigt bei Temperaturen unter 100 Grad:

Temperatur.	Spannkraft.	Dampfmenge.
0°	5 Mm.	5 Gramm.
20°	17 „	17 „
40°	55 „	50 „
60°	150 „	130 „
80°	355 „	290 „

Die folgende Tabelle giebt die Spannkraft des Waſſerdampfs in Atmoſphären für Temperaturen über 100 Grad.

Spannung des Waſſerdampfs.

Atmoſphären.	Temperatur.	Atmoſphären.	Temperatur.
1	100°	11	185°
2	121°	12	188°
3	134°	13	192°
4	144°	14	196°
5	152°	15	199°
6	159°	16	202°
7	165°	17	205°
8	171°	18	208°
9	176°	19	210°
10	180°	20	213°

Einen ſehr deutlichen Beweis dieſer Eigenſchaften des Dampfes liefert der Papin'ſche Topf, von dem Erfinder der Dampfmaſchine erdacht. Derſelbe beſteht aus einem Metallgefäß (Fig. 70) mit ſehr dicken Wänden, welches man mit einem Deckel aus gleichem Metall durch eine Preßſchraube hermetiſch verſchließen kann. Der Deckel hat eine Klappe, auf welche man, um ſie zu ſchließen, einen Hebel ſtützt, der mit einem Gewichte belaſtet iſt. In den Topf gießt man Waſſer und erwärmt es. Der Dampf miſcht ſich mit der im Innern verſchloſſenen Luft; man öffnet auf einige Augenblicke die Klappe, um dieſe Miſchung von Luft und Dampf entweichen zu laſſen, und in dem Topfe bleibt dann nur Dampf und Flüſſigkeit zurück; darauf ſchließt man die Oeff-

ıg wieder mit dem Hebel. Der Dampf drückt nach allen
ten gegen ſeine Hülle, ſeine Spannkraft wächſt ſehr ſchnell
der Temperatur und iſt bald ſtark genug, um die Klappe

Fig. 70. Papin'ſcher Topf.

öffnen; dann fährt ein ziſchender Dampfſtrahl heraus,
man muß ein zweites Gewicht an den Hebel hängen, um
Oeffnung zu ſchließen. Die Temperatur ſteigt immer
r und die Spannkraft nimmt auch zu, ſo daß man den
el nochmals belaſten muß; wenn die Temperatur 213
d erreicht hat und in dem Topfe noch ein Ueberreſt der
ſigkeit bleibt, ſo beſitzt der Dampf die Spannkraft von
Atmoſphären; beträgt nun die Oberfläche des Deckels
n Quadratdecimeter, ſo hält dieſer einen Druck von mehr

als 2000 Kilogrammen aus. Man begreift, daß ein ſolches Experiment nicht ohne Gefahr iſt, weil das Gefäß ſpringen kann.

Der Papin'ſche Topf hat eine ſehr wichtige Anwendung gefunden. Da er geſtattet, die Temperatur des Waſſers bedeutend über 100 Grad zu erheben und gewiſſe Subſtanzen (wie z. B. Knochengallerte) um ſo leichter von Waſſer aufgelöſt werden, als daſſelbe heißer iſt, ſo bedient man ſich dieſes Apparates zur Bereitung von Extracten. Man läßt z. B. friſche Knochen darin digeriren und zieht daraus die Gelatine, eine ſehr nahrhafte Subſtanz. Es wird erzählt, daß vor etwa vierzig Jahren auf der Tafel eines Präfecten eine Schüſſel Gelatine ſervirt wurde, welche aus foſſilen Knochen großer Thiere, die vor 6000 Jahren gelebt hatten, auf dieſe Weiſe bereitet worden war.

Das Maximum der Spannkraft eines Dampfes hat ſtets denſelben Werth, wenn der Dampf bei der Erwärmung oder Abkühlung eine gegebene Temperatur erreicht. So iſt bei 120 Grad die Spannkraft des Waſſerdampfes über Waſſer immer gleich 2 Atmoſphären; es iſt unmöglich, Waſſerdampf zu erzielen, der bei einer Temperatur unter 120 Grad eine Spannkraft über zwei Atmoſphären beſäße.

Viele Flüſſigkeiten und gewiſſe feſte Subſtanzen können ſich alſo nicht im luftleeren Raume befinden, ohne daß ihre Moleküle ſich von der Oberfläche trennen und in den gasförmigen Zuſtand übergehen. Welch' eine Schicht dieſe Verwandlung erleidet, hängt von der Natur der Subſtanz und von der Temperatur ab; ſie iſt um ſo dicker, als die Temperatur höher iſt. Sobald das Gas in genügender Menge vorhanden iſt, übt es auf die Oberfläche einen gewiſſen Druck aus, der die weitere Dampfbildung hemmt. Dies beruht auf

dem Zustande der Moleküle und ihrer wechselseitigen Wirkung. Im Innern des Körpers ist jedes Theilchen von allen Seiten der Wirkung anderer Theilchen unterworfen, es kann also hier nicht so ungehindert der Wärme nachgeben, als an der Oberfläche. Die Wärme bestimmt den Zustand der Moleküle, und in Folge dessen die Temperatur des Körpers; sie wirkt als ausdehnende Kraft, die der gegenseitigen Anziehung der Moleküle entgegenstrebt; an der Oberfläche besteht ihre Wirkung in vollständiger Aufhebung der Cohäsion und Ausführung einer innern Arbeit. Im vorigen Kapitel wurde eine ähnliche Differenz zwischen dem Innern und der Oberfläche in Bezug auf Schmelzung und Festwerden constatirt.

Zur Bekräftigung unserer Schlüsse werden wir noch im folgenden Kapitel beweisen, daß die Verdampfung von einem Verschwinden fühlbarer Wärme begleitet ist. Vorläufig wollen wir aber die Umstände, unter welchen die Verdampfung stattfindet, noch näher untersuchen.

Nehmen wir noch einmal den Apparat zur Hand, mit welchem wir die Dampfbildung im luftleeren Raume beobachtet haben, und führen diesmal einen Ueberschuß von Aether ein, ohne ihm die Luft zu entziehen. (Fig. 69.) Wir werden die Quecksilbersäule in der Röhre nur noch nach und nach fallen sehen. Der Dampf bildet sich also langsam und mischt sich mit der Luft. Nach einiger Zeit bleibt das Quecksilber stationär, ein Beweis, daß die Luft jetzt mit Dampf gesättigt ist. Der Stand des Niveaus zeigt, daß die Dampfmenge dieselbe ist, wie vorher im luftleeren Raum.

Wir schließen aus diesem Versuch, daß eine Flüssigkeit in einem Raume, der Luft, oder allgemeiner gesagt, ein Gas enthält, das keine chemische Wirkung auf sie ausübt, ebenso verdampft, wie im luftleeren Raum; der einzige Unterschied

besteht in der Geschwindigkeit: die Dampfbildung geschieht im leeren Raum augenblicklich, im Gase nur allmählich.

Es erklärt sich dies durch den mechanischen Widerstand, welchen das Gas der Entfernung der Dampftheilchen entgegensetzt. Sie lösen sich los, häufen sich erst auf der Oberfläche der Flüssigkeit an, entfernen sich dann langsam von derselben in dem Maße, als ihre Spannkraft den Widerstand des Gases übersteigt, und halten ihrerseits die Theilchen der Oberfläche zurück, welche sich eben loslösen wollen. Bei dieser Verdampfung kommt daher eine äußere mechanische Arbeit in Rechnung, nämlich die, welche durch Verschiebung der Luft ausgeführt wird, und eine innere, welche die Trennung der Moleküle von der Oberfläche der Flüssigkeit bewirkt. Die Luft wirkt hier nur durch die Trägheit ihrer Masse, und der Dampf ist es allein, der die fernere Verdampfung aufhält.

Wir kommen jetzt zu der Verdampfung in der Atmosphäre. Eine Sättigung der Luft kann hier nur in nächster Nähe des flüchtigen Körpers stattfinden, da die Atmosphäre einen unermeßlichen Raum einnimmt. Die gesättigten Schichten werden aber unablässig von andern ersetzt, welche den Körper so lange aussaugen, bis er vollständig verdampft ist. Die Moleküle bleiben in Gasform so lange mit der Atmosphäre vermischt, bis Umstände eintreten, die ihre Verdichtung gestatten. Im Winter, zum Beispiel, verschwindet Schnee und Eis bei trockenem Winde, ohne daß eine Schmelzung stattfindet, weil der Wind unaufhörlich den sich bildenden Wasserdampf weiterführt und die Verdampfung dadurch sehr beschleunigt. Aus demselben Grunde kann auch nasse Wäsche bei starkem Froste trocknen, obgleich das Wasser, welches sie enthält, gefriert. Ebenso trocknet im Sommer ein-während der Nacht sich erhebender Wind den schon gefallenen Thau wieder auf.

In jedem Augenblicke begegnen uns Wirkungen der Verdampfung von Flüssigkeiten. Je höher die Temperatur, desto intensiver zeigen sie sich. In den Aequatorgegenden erhebt der Wasserdampf sich von der Oberfläche der Meere, welche die glühenden Strahlen der Sonne erwärmen, begegnet aufsteigend kälteren Luftschichten und verdichtet sich zu leichten Wassertröpfchen, welche die Wolken bilden. Diese Tröpfchen werden durch einen aufsteigenden Luftstrom in die höhern Regionen getragen, wo sie in den trockenen Luftschichten verschwinden. Wie oft, wenn wir den Himmel betrachten, wohnen wir dem langsamen Verschwinden einer Wolke über unserem Haupte bei; der Morgennebel zerstreut sich, wenn der Tag anbricht, entweder aufwärts geführt um Wolken zu bilden, oder von den Sonnenstrahlen in Dampf aufgelöst, und in diesem Falle kann der Himmel klar bleiben. Neben diesem Sieg der Wärme finden wir auch den Sieg der Molekularkräfte: die Rückkehr der Wolken, ihre Umsetzung in Regen, Schnee und Hagel zeigt die Wiedervereinigung der Wassermoleküle an. Von der Erde aufgestiegen, haben sie eine große Luftreise vollbracht und kehren zur Erde zurück, um eine neue, noch wunderbarere Wanderung anzutreten, wie wir später sehen werden.

3. Zur Dampfbildung wird Wärme verbraucht.

Wenn eine Flüssigkeit am Feuer verdampft, so begreift man leicht, daß die Arbeit der Dampfbildung von der Wärme, welche das Feuer liefert, geleistet wird. Weniger klar ist der Vorgang, wenn die Verdunstung ohne sichtbare Wärmequelle stattfindet. Betrachten wir einige Erscheinungen dieser Art.

Wenn wir Aether auf die Hand gießen, so verursacht seine Verflüchtigung ein Gefühl der Kälte. Mit andern Flüssigkeiten, die weniger schnell verdunsten, z. B. mit Schwefelkohlenstoff oder besonders mit Wasser, ist die Kälte weit weniger empfindlich. Es besteht also ein Wechselverhältniß zwischen der erzeugten Dampfmenge und dem Wärmeverlust, und es wird wahrscheinlich, daß die innere Arbeit der Verdampfung eine Quantität fühlbarer Wärme verbraucht, die der noch nicht verdampften Flüssigkeit und der Umgebung entzogen wird und daß diese Wärme in einem bestimmten Verhältnisse zur Arbeit steht. Die Größe der Wirkung kann man taxiren, indem man die Kugel eines Thermometers mit Baumwolle umwickelt, die Flüssigkeiten hinaufträpfelt und das Thermometer hin und her bewegt. Die Verdampfung wird sehr intensiv, und das Thermometer zeigt das Sinken der Temperatur dabei an. Das Resultat ist ganz so, wie wir es bei den verschiedenen Substanzen schon durch das Gefühl wahrgenommen. Mit dem Aether erhält man eine Kälte von mehreren Graden unter Null; mit dem Wasser sinkt die vorhandene Temperatur kaum um einige Grade.

Wenn die Verdampfung Wärme verbraucht, so muß umgekehrt die Verdichtung des Dampfes Wärme frei machen, denn diese Verdichtung repräsentirt eine Leistung von Molekulararbeit und wir wissen, daß eine solche Operation gewöhnlich von Wärmebefreiung begleitet ist. Wir werden bald Beweise für diese Behauptung finden. Haben wir deren nicht schon in vielen alltäglichen Vorgängen? Die Temperatur der Luft ist z. B. im Winter nach einem Regen viel milder. Daß dieser Regen Wärme hervorbringt, kommt daher, daß der atmosphärische Wasserdampf sich verdichtet.

4. Das Sieden unter conſtantem Druck. — Das Temperaturgeſetz.

Es giebt noch eine dritte Art, Flüſſigkeiten in Dampf zu verwandeln: dieſe iſt das Sieden, oder Dampfbildung in der ganzen Maſſe der Flüſſigkeit. Das Studium dieſer Erſcheinung bedarf nur ſehr einfacher Vorrichtungen.

Betrachten wir die fortſchreitende Wirkung der Wärme auf Waſſer, welches ſich in einem offenen Gefäß, z. B. in einem Glasballon befindet (Fig. 71). Setzen wir dieſen Ballon über Kohlenfeuer, nachdem wir ein Thermometer hineingeſenkt. Die Temperatur erhebt ſich gradweiſe, und auf- und niederſteigende Strömungen vertheilen die Wärme durch Transport; an der Oberfläche bildet ſich Dampf, der über dem Ballon zu einem leichten Nebel verdichtet wird. Dieſe Erſcheinung haben wir ſchon früher erklärt. Im Innern des Waſſers bilden ſich kleine Luftbläschen und ſteigen langſam zur Oberfläche auf (das Waſſer enthält gewöhnlich etwas Luft). Später zeigen ſich auf dem Grunde und an verſchiedenen Stellen der Wand größere Blaſen, ſteigen in die Höhe, indem ſie dabei an Volumen abnehmen, und verſchwinden, ohne die Oberfläche erreicht zu

Fig. 71. Gewöhnliches Sieden.

haben. Man hört dabei ein eigenthümliches Geräuſch und ſagt: das Waſſer ſingt. Dies Geräuſch läßt ſich vielleicht folgendermaßen erklären. Jede Blaſe beſteht aus Dampf, der ſich rings um ein Luftbläschen entwickelt, ſobald die Temperatur auf 100 Grad ſteigt. Da der Ballon von unten her erwärmt wird, ſo erreichen die unteren Waſſerſchichten dieſe Temperatur früher als die oberen; der hier ſich bildende Dampf ſteigt in die Höhe, wo er kälteren Schichten begegnet, ſich abkühlt und ſich plötzlich verdichtet. Dadurch entſteht einen Augenblick lang eine kleine Leere, die umliegenden Waſſermoleküle beeilen ſich dieſelbe auszufüllen, und durch ihren Zuſammenſtoß entſteht das Geräuſch, welches wir vernehmen und ein leiſes Zittern der Flüſſigkeit. Endlich bilden die Dampfblaſen ſich auch an der Oberfläche; das Thermometer zeigt 100 Grad, und die Flüſſigkeit iſt im vollen Sieden. Jetzt ſieht man die Blaſen ſich beim Aufſteigen vergrößern und in der Luft zerplatzen, indem ſie halbkugelförmige Waſſerflächen aufheben.

Das erſte Grundgeſetz des Siedens iſt die Conſtanz ſeiner Temperatur, wenn daſſelbe unter den eben beſchriebenen Umſtänden ſtattfindet. Jede Flüſſigkeit hat ihren eigenthümlichen Siedepunkt in freier Luft, wie jeder feſte Körper ſeinen Schmelzpunkt hat. So kocht das Waſſer bei 100 Grad, Alkohol bei 79 Grad, Aether bei 36 Grad.

Dieſe Conſtanz der Temperatur macht den Unterſchied zwiſchen Verdunſtung und Sieden aus, beide Erſcheinungen ſind aber nur zwei verſchiedene Arten der Verdampfung, d. h. des Ueberganges einer flüſſigen Subſtanz in den Zuſtand von Gas. In beiden Fällen geht dieſe Veränderung an den freien Oberflächen der Flüſſigkeit vor ſich, nur bildet der Dampf ſich bei der Verdunſtung an dem ſichtbaren Niveau,

während beim Kochen eine Unzahl kleiner Oberflächen die mikroskopischen Luftblasen umgiebt, bald an den Wänden des Gefäßes, bald im Innern der Flüssigkeit, und der Dampf auf diesen kleinen Oberflächen entsteht. Das Sieden ist also in Wirklichkeit nichts weiter als eine Verdunstung, die an einer großen Anzahl von Punkten zu gleicher Zeit stattfindet.

Man kann durch verschiedene Experimente beweisen, daß die Gegenwart der Luftblasen eine zum Sieden nothwendige Bedingung ist.

Das erste rührt von Donny her und besteht darin, das Wasser in einer nach Angabe der Figur 72 gebogenen Glasröhre zu verschließen. Ehe man die Röhre zuschmilzt, läßt man das Wasser einige Augenblicke darin kochen, um alle in der Röhre befindliche Luft auszutreiben; dann läßt man es

Fig. 72. Donny's Experiment über das Sieden.

abkühlen, und der Apparat ist fertig. Will man sich seiner bedienen, so senkt man den Theil, welcher das Wasser enthält,

in ein Oelbad und erwärmt daſſelbe vermittelſt einer Alkohollampe. In das Oel ſtellt man ein Thermometer und ſieht, daß die Temperatur bis 130 Grad ſteigen kann, ohne daß das Waſſer ins Sieden kommt. Aber wenn dieſe Temperatur erreicht iſt, wird das Waſſer auf einmal in den anderen Theil der Röhre geſchleudert, mit einem heftigen Stoß, welcher indeß der beſondern Form der Röhre wegen, keine Gefahr bringt.

Ein anderes Experiment, von Dufour in Lauſanne, liefert einen noch deutlicheren Beweis.

Man läßt einen Waſſertropfen in eine Miſchung verſchiedener Oele von 100 Grad fallen, deren Proportionen derart berechnet ſind, daß ihre Dichtigkeit der des Waſſers von der nämlichen Temperatur gleichkommt. Das Waſſer bildet eine Kugel im Innern der Flüſſigkeit und bewahrt dieſe Geſtalt auch wenn man die Temperatur um mehrere Grade über 100 Grad erhebt: es findet kein Sieden ſtatt, weil der Waſſertropfen ringsum von dem Oele eingeſchloſſen, keine Verdampfungsoberfläche hat. Berührt man ihn aber mit einem Holzſtäbchen, ſo erſcheinen ſofort an dem Berührungspunkte Dampfblaſen. und zwar aus folgendem Grunde. Das Holz hat einige Luftbläschen mitgenommen und bis zu dem Waſſer geführt; dadurch iſt die Dampfbildung möglich geworden, der Dampf ſteigt in die Luftblaſen und vergrößert ihr Volumen, bis ſie ſich von dem Stabe loslöſen und an die Oberfläche ſteigen können.

Es giebt ein zweites Grundgeſetz des Siedens, welches den Einfluß eines äußeren Widerſtandes auf die Verdampfung ins Licht ſetzt. Wir haben geſagt, daß Waſſer bei 100 Grad kocht; dies kann nur da ſtattfinden, wo die Queckſilberſäule des Barometers eine Höhe von ungefähr 76 Centimeter zeigt.

Diese Bedingung ist aber in hochgelegenen Gegenden nicht erfüllt. Auf dem Gipfel des Montblanc hat das Barometer durchschnittlich nur eine Höhe von 42 Centimeter. Unter diesem Druck kocht das Wasser schon bei 84 Graden, und der Aether bei 20 Grad, während er unter dem gewöhnlichen Druck erst bei 36 Grad kocht. Kurz gesagt: je niedriger der Luftdruck, desto niedriger ist auch die Siedetemperatur in freier Luft. Den Grund dieses Gesetzes kann man leicht einsehen: jede Dampfblase muß, um sich bilden zu können, die sie umgebende Flüssigkeit zurückdrängen, ihren Widerstand überwindend; der Druck, den die Atmosphäre an der Oberfläche ausübt, wird von der Flüssigkeit auf die Dampfblase übertragen, und wenn die Flüssigkeit von geringer Tiefe ist, so besteht in diesem Drucke die hauptsächlichste Ursache des Widerstands. Der Dampf muß diesen Druck übersteigen, das heißt eine etwas höhere Expansionskraft haben, denn erst wenn er sich in der Atmosphäre ausbreitet, ist der beiderseitige Druck ein gleicher. Die Dampfblasen beginnen sich zu bilden, wenn die Flüssigkeit eine Temperatur erreicht hat, bei der die Spannkraft des Dampfes dem Druck der Atmosphäre gleichkommt. Wir haben aber vorher gesehen, daß diese Temperatur zu gleicher Zeit mit der entsprechenden Spannkraft abnimmt, und so erklären sich die auf dem Montblanc beobachteten Erscheinungen ganz natürlich.

Sobald das Kochen beginnt, bleibt die Temperatur constant, unter der Bedingung, daß auch der Druck nicht variirt. Wenn der Druck an der Oberfläche zunähme, so würde das Kochen einen Augenblick aufhören, bis die Wirkung der Wärmequelle die Temperatur genügend erhöht hätte. Die Tabelle auf Seite 204 giebt die Siedetemperatur des Wassers bei verschiedenem Druck; wenn z. B. das Wasser dem Druck

von zwei Atmoſphären unterworfen iſt, ſo muß ſeine Temperatur ſich zu 120 Grad erheben, damit es kochen kann. In den Dampfmaſchinen findet das Kochen bei einer conſtanten Temperatur ſtatt, wenn das Feuer in der Art unterhalten wird, daß die in dem Keſſel ſich bildende Dampfmenge in jedem Augenblick der gleich kommt, welche in den Cylinder geht; nur unter dieſer Bedingung bleibt der Druck in dem Dampfkeſſel conſtant, und die Maſchine arbeitet regelmäßig. Unſere Tabelle lehrt das Verhältniß kennen, das zwiſchen dieſem Druck und der Siedetemperatur des Waſſers beſteht. Wenn die Maſchine den Druck von 10 Atmoſphären hat, ſo kocht das Waſſer bei 180 Grad. Nehmen wir an, daß der Heizer aus Unachtſamkeit eine zu große Quantität Kohlen in die Feuerung gethan, ſo muß die Temperatur ſteigen, weil die in dem Keſſel gebildete Dampfquantität größer iſt, als die welche in den Cylinder eintreten kann, und der Druck nimmt raſch zu. Bei 200 Grad kommt er dem von 16 Atmoſphären gleich; bei 213 Grad dem von 20 Atmoſphären, ſo daß, wenn die Temperatur ſich nur um 33 Grad erhöhe, der Druck verdoppelt wäre, was eine Exploſion veranlaſſen würde, wenn die Maſchine nicht im Stande wäre, einen ſo hohen Druck zu ertragen. Dem vorzubeugen, erhält der Dampfkeſſel mehrere Sicherheitsventile, die den Dampf, ſobald der Druck zu ſtark wird, herauslaſſen, und ſo auf die Gefahr aufmerkſam machen.

5. Innere und äußere Arbeit. — Verdampfungswärme.

Welche Rolle ſpielt die Wärme beim Sieden unter conſtantem Druck, wo die Temperatur ſich nicht ändert? Die unaufhörlich von der Feuerung gelieferte Wärme iſt nicht mehr fühlbar, wenn ſie in die Flüſſigkeit übergeht, da das

Thermometer ihre Anwesenheit nicht verräth; sie ist verbraucht, als Wärme vernichtet, und ihr Aequivalent ist die ausgeführte mechanische Arbeit. Hierbei muß erstens die innere Arbeit beachtet werden, die in der Trennung der flüssigen Theilchen trotz ihrer Cohäsion besteht; zweitens die äußere Arbeit, welche die Volumenvergrößerung, trotz des Widerstandes der Umgebung ausführt. Wenn die Flüssigkeit in freier Luft kocht, so bietet die Atmosphäre diesen Widerstand; wenn sie in der Dampfmaschine kocht, so thut dies der Kolben. Die äußere Arbeit ist unter diesen Umständen sehr beträchtlich im Vergleich zu der innern, und darf keineswegs, wie beim Schmelzen fester Körper, vernachlässigt werden, weil das Volumen des Dampfes immer sehr viel größer ist als das der Flüssigkeit, die ihn hervorgebracht. So dehnt sich das Wasser, welches bei 100 Grad verdampft, zu einem 1700 Mal größeren Volumen aus.

Um die ausgeführte Arbeit zu schätzen, denken wir uns einen Cylinder von einem Quadratdecimeter im Querschnitt, und darin 1 Kilogramm Wasser von 100 Grad; ein Kolben übt einen Druck von 103 Kilogramm auf dieses Wasser aus. Nachdem man 537 Wärmeeinheiten verausgabt hat, ist dieses Wasser in Dampf verwandelt und der Kolben zu der Höhe von 170 Meter gehoben. Die geleistete äußere Arbeit beträgt also mehr als 17,000 Kilogrammeter und hat 40 Wärmeeinheiten verbraucht, d. h. $\frac{1}{13}$ von der verausgabten Wärme.

Wie haben nun die Physiker die Verdampfungswärme bestimmen können, d. h. die Zahl der Wärmeeinheiten, welche ein Kilogramm einer Flüssigkeit verbraucht, wenn es sich unter constantem Druck in Dampf verwandelt? Einfach, indem sie die Wärme gemessen, welche der Dampf bei seiner Rückkehr zum flüssigen Zustand unter gleichem Druck, frei macht.

Unterdrücken wir einmal die Wärmequelle, welche unsern mit Dampf gefüllten Cylinder umgiebt. Der Kolben sinkt allmählich nieder, während die von der Wärmewirkung befreiten Dampfmoleküle ihrer gegenseitigen Anziehungskraft gehorchen und in den flüssigen Zustand zurückkehren. Es werden dabei zwei Arten von Arbeit geleistet; erstlich die des fallenden Kolbens, ferner die der Molekularkräfte. Dadurch wird eine Quantität Wärme frei gemacht, die der Totalsumme beider Arbeiten gleichkommt. Wenn das Kilogramm Wasser von 100 Grad wieder da ist, so muß die geschaffene Wärme genau dieselbe Quantität betragen, wie die, welche bei der Verdampfung gebraucht wurde. Die Verdichtung des Dampfes unter denselben Druckverhältnissen wie das Sieden ausgeführt, bietet auch dasselbe Verhältniß zwischen Wärme und Arbeit; nur der Sinn der beiden Größen ist umgekehrt, einmal wird die Wärme durch die Arbeit frei gemacht, das andere Mal verbraucht. Die frei gemachte Wärme ist nun sehr leicht zu messen: man umgiebt den Cylinder mit kaltem Wasser; nach dem Gewicht dieses Wassers und seiner Temperaturerhöhung berechnet man die Zahl der abgegebenen Wärmeeinheiten. Deshalb zieht man es vor, die Messung bei der Rückkehr in den flüssigen Zustand auszuführen, und auf diese Weise hat Regnault gefunden, daß in dem vorhin beschriebenen Prozesse 536 Wärmeeinheiten verausgabt werden.

Die Destillation liefert ein sehr einfaches Beispiel von der Verdichtung der Dämpfe unter constantem Druck. Dieses Verfahren hat den Zweck, mehrere ungleich flüchtige Substanzen von einander zu separiren, wenn sie eine flüssige Mischung bilden. Der einfachste Fall ist der, wo es sich nur um eine Flüssigkeit handelt, in welcher nicht flüchtige Stoffe aufgelöst sind. Die Mischung wird in eine Retorte eingeführt,

und mit möglichſt großer Oberfläche der Wirkung eines Feuers ausgeſetzt. Wenn ſie zu kochen beginnt, ſo bildet ſich Dampf, welcher nur allein aus der Flüſſigkeit herrührt, und tritt in ein Schlangenrohr, welches durch ein Kühlgefäß geleitet iſt und mit dem offenen Ende in die freie Luft mündet, ſo daß der Druck der Atmoſphäre ungehindert im Innern des Apparates wirken kann. (Fig. 73.) Der erkaltete Dampf verdichtet ſich zuerſt unter dieſem Druck, wobei er Wärme frei macht. Die dadurch gebildete Flüſſigkeit geht ſich abkühlend durch die Röhre und giebt ſo lange Wärme ab, bis ſie die

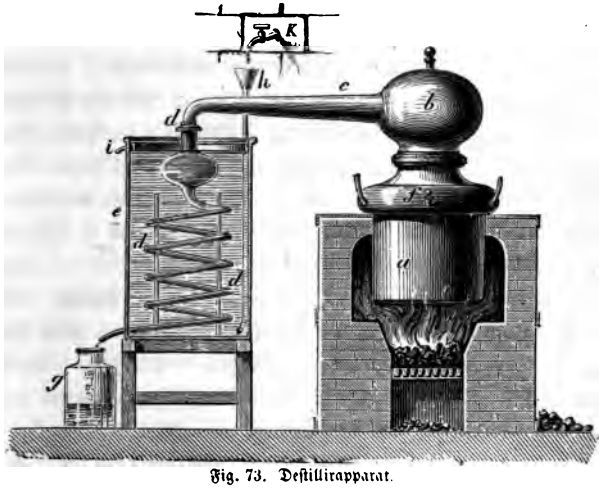


Fig. 73. Deſtillirapparat.

gewöhnliche Temperatur erreicht hat; am Ausgange des Rohres wird ſie in einem Gefäße aufgefangen. Die nicht flüſſigen Stoffe bleiben im Keſſel zurück, und die Flüſſigkeit iſt auf dieſe Weiſe vollſtändig gereinigt.

Die während der Verdichtung des Dampfes frei gewordene

Wärme geht selbstverständlich in das Kühlwasser über; will man aber so wenig Dampf als möglich verlieren, so muß man dafür sorgen, daß die übergegangene Flüssigkeit ganz kalt aus der Röhre hinaustritt und deshalb das Kühlwasser fortwährend erneuern. Dieses geschieht, indem man das Wasser von unten in das Kühlgefäß eintreten läßt, so daß es das erwärmte Wasser in die Höhe hebt und oben hinausdrängt.

Zu bemerken ist noch, daß die von dem Kühlrohr abgegebene Wärme derjenigen gleich ist, welche der Destillirkolben der Wärmequelle entnommen hat, und daß die Destillation einen veritablen Wärmetransport ausführt. Dieses Verfahren wendet man auch als Heizungsmittel an, und das Heizen durch Dampfcirculation ist eben nichts weiter, als eine Wasserdestillation im Großen. Handelt es sich um Erwärmung eines Hauses, so wird der Dampfkessel im Keller eingemauert, und von hieraus schlängeln sich große Röhren in allen Zimmern längs der Wände und unter dem Fußboden hin; der Dampf tritt hinein, verdichtet sich, indem er Wärme frei macht, und kehrt schließlich als Flüssigkeit wieder in den Kessel zurück, um sich hier von neuem zu erwärmen. So geht das ununterbrochen in derselben Weise fort, ganz wie unser Blut die Wärme von den Lungen in Empfang nimmt, durch den ganzen Körper vertheilt, und dann wieder zur Quelle zurückkehrt, um den Verlust zu ersetzen.

6. Wie die Wärme in Dampf- und Luftmaschinen benutzt wird.

Eine Dampfmaschine, die ihren Condensator hat, könnte mit einem Destillirapparat verglichen werden, wenn man sich mit einer oberflächlichen Anschauung begnügen wollte, denn auch hier findet man den Dampfkessel, in welchem das Wasser

Wärme verbrauchend in Dampf übergeht, und den Condenſator, in welchem der Dampf Wärme frei machend in den flüſſigen Zuſtand zurückkehrt; man könnte daher glauben, wie man es lange gethan, daß die frei werdende Wärme der gleich iſt, welche zur Verdampfung verbraucht wurde. Dem iſt aber nicht ſo. Die frei gewordene Wärme iſt ſtets geringer als die verbrauchte, und die Differenz iſt proportional zu der von der Maſchine ausgeführten Arbeit; die der Wärmequelle durch das Waſſer im Keſſel entnommene Wärme wird theilweiſe in den Condenſator übertragen, theilweiſe aber als Wärme vernichtet und in dem Cylinder, wo ſie eine mechaniſche Arbeit ausführt, in Bewegung umgeſetzt. Die vollkommenſte Maſchine iſt die, bei welcher die in Arbeit verwandelte Wärme die größtmöglichſte Proportion zeigt; und die Theorie lehrt, daß dieſe Proportion ein Sechſtel der wirklich von dem Dampfe verbrauchten Wärme kaum überſteigen kann. Mit andern Worten, bei den beſten Dampfmaſchinen wird von 6 Wärmeeinheiten, welche die Quelle dem Dampfkeſſel liefert, nur eine in Arbeit umgeſetzt, während 5 in den Condenſator wandern, gerade wie bei dem Deſtillirapparat; mithin kann man ſagen, daß dieſe Maſchinen zugleich arbeiten und heizen.

Wenn man von dieſem Geſichtspunkt aus die gewöhnliche Dampfmaſchine mit den Luftmaſchinen vergleicht, von denen wir ſchon im erſten Kapitel eine Idee gegeben, ſo findet man, daß letztere theoretiſch vortheilhafter ſind. Wenn z. B. die Luft der Maſchine wenig über 300 Grad erwärmt wird (die höchſte Temperatur, die man ihr bei Vermeidung einer ſchnellen Zerſtörung der Organe durch Oxydation geben kann), ſo iſt es theoretiſch möglich, die Hälfte der verbrauchten Wärme in Arbeit umzuſetzen, während der Reſt an die benach-

barten Körper abgegeben wird; ein weit größeres Reſultat, als mit der Dampfmaſchine zu erreichen iſt. Es lohnt alſo wohl, daß man Luftmaſchinen zum Gegenſtand eines ernſtlichen Studiums macht. Wenn die Erfinder alle Vortheile kennen würden, die man aus ſolchen Maſchinen ziehen könnte, ſo würden ſie ihre Dispoſitionen zu vervollkommnen und die unvermeidlichen Wärmeverluſte zu vermindern ſuchen. Leider haben die zahlreichen Verſuche, große Maſchinen dieſer Art zu conſtruiren, bis jetzt den Erwartungen nicht entſprochen, zu denen ſie berechtigen; infolge von fehlerhafter Ausführung und oft auch von unzweckmäßiger Anlage übertreffen ſie die gewöhnlichen Dampfmaſchinen noch nicht. Aber ihnen gehört die Zukunft: ſie bieten keine Gefahr der Exploſion; arbeiten ohne Waſſer; und was die Hauptſache iſt, ſie können auf die allerſparſamſte Weiſe die Umwandlung der Wärme in Arbeit bewerkſtelligen. Mögen die Erfinder alſo nicht den Muth verlieren; mögen ſie die von der neuen Wärmetheorie aufgeſtellten Regeln gründlich ſtudiren und bei ihren mühevollen Verſuchen ſtets das aufmunternde Beiſpiel Watts vor Augen haben! Nach wie vielen Anſtrengungen und Geldopfern gelang es dem berühmten Manne erſt, ſeine Dampfmaſchine in die Induſtrie einzuführen; und wie viele Andere haben vor ihm vergeblich gearbeitet, ſeit Dionys Papin das Princip dieſer Maſchine entdeckt hatte; eine Entdeckung, die ſeinen Namen für alle Zeit unſterblich macht!

Kommen wir wieder auf die Dampfmaſchine zurück. Es iſt eine durch die Beobachtung feſtgeſtellte Thatſache, daß 1 Kilogramm Waſſerdampf bei ſeiner Verdichtung im Condenſator weniger Wärme frei macht, als zu ſeiner Bildung im Keſſel verbraucht wurde. Wir können uns das folgendermaßen erklären. Das Waſſer wird durch das Kochen unter

constantem Druck in Dampf verwandelt und die verbrauchte Wärme dient theils zur Trennung der flüssigen Moleküle, womit sie eine innere Arbeit leistet; theils um den Widerstand des Kolbens zu überwinden, womit sie eine äußere Arbeit ausführt; sie ist der Totalsumme dieser beiden Arbeiten äquivalent. In dem umgekehrten Prozeß tritt der Dampf durch den Cylinder in den Condensator, wo der Druck nur ein mäßiger ist; die äußere Arbeit, welche der Volumenabnahme dieses Dampfes entspricht, ist ganz unbedeutend; die innere, durch die Molekularkräfte im Augenblick der Flüssigwerdung verausgabte Arbeit ist allein fähig, eine meßbare Wärmequantität frei zu machen. Folglich ist es die Abwesenheit einer genügenden äußeren Arbeit während der Verdichtung, welche die beobachtete Differenz erklärt.

Wir sehen also, daß der Dampf bei seiner Abkühlung nicht die gleiche Wärmequantität frei macht, wenn er sich unter constantem oder unter allmählich abnehmendem Drucke verdichtet, und diese Bemerkung führt uns zu einem Versuch über das Sieden unter ähnlichen Umständen.

7. Wie man eine Flüssigkeit durch Abkühlung zum Sieden bringen kann.

Es ist nicht nothwendig, daß eine Flüssigkeit am Feuer steht, damit sie kocht. Zwei Bedingungen sind dazu genügend: die Flüssigkeit muß kälter als die Umgebung, und der auf ihr lastende Druck muß geringer als das Maximum der Spannkraft sein, die ihr Dampf bei der in Frage kommenden Temperatur besitzt. Denn um jede Luftblase in der Flüssigkeit beginnt der Dampf sich zu entwickeln, sobald die Wärme der benachbarten Körper bis zu der Blase vorgedrungen ist. Er wird in seiner Entwickelung durch den Druck der umliegenden

Flüssigkeit gehindert: dieser Druck resultirt aus dem Gewicht der oberen Flüssigkeitsschichten und aus dem Widerstande der Luft oder des Gases über der Oberfläche. Der Zustand der flüssigen Moleküle unter dem doppelten Einfluß von Wärme und Druck ist einer gespannten Feder vergleichbar; wenn das Hinderniß, das sie comprimirt, eine Widerstandsgrenze bietet, so werden dieselben durch eine stufenweise zunehmende Spannung beseitigt, und die Feder dehnt sich plötzlich aus. Wird die Flüssigkeit allmählich erwärmt, so tritt ein Zeitpunkt ein, wo die Theilchen den äußeren Widerstand übersteigend, sich separiren; sie besitzen in diesem Augenblick eine Spannkraft die derjenigen des äußeren Widerstandes mindestens gleichkommt.

Diese Folgerung zeigt uns, daß das Kochen nicht immer unter constantem Druck und bei unveränderter Temperatur stattfindet, wie in den bis jetzt beobachteten Fällen.

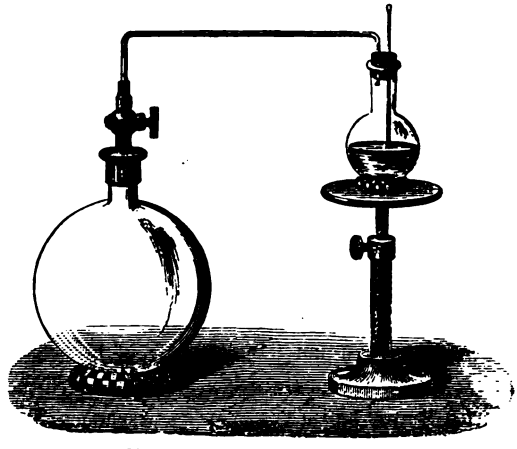


Fig. 74. Sieden im luftleeren Raum.

Setzen wir z. B. einen kleinen, Aether enthaltenden Glasballon (Fig. 74) durch eine bleierne Röhre mit einem größeren, völlig luftleeren Gefäß in Verbindung, welches durch einen Hahn verſchloſſen iſt. Oeffnen wir den Hahn, ſo beginnt der Aether im Ballon mit großer Heftigkeit zu kochen, als ob er über einem Feuer ſtände. Haben wir ein Thermometer in der Flüſſigkeit, ſo können wir uns davon überzeugen, daß die Temperatur derſelben um einige Grade geſunken iſt. Wenn das Sieden ſo einige Augenblicke gewährt hat, hört es plötzlich ganz auf.

Dieſe Beobachtung beſtätigt die Richtigkeit unſerer Folgerungen.

Bevor durch das Oeffnen des Hahnes die Verbindung zwiſchen beiden Behältern hergeſtellt wurde, hatte der Aether ſeine gewöhnliche Temperatur und ſeine Oberfläche ſtand unter dem atmoſphäriſchen Druck. Als der Hahn geöffnet wurde, ſtrömte die Luft des Ballons in den leeren Raum, und ihr Druck nahm bedeutend ab; die Aethertheilchen konnten ſich an der Oberfläche der Flüſſigkeit in Dampf verwandeln, weil ihre Compreſſion aufhörte. Bei der Verdampfung als einer innern Arbeit verſchwand eine dieſer Arbeit äquivalente Wärmemenge, und die Temperatur des flüſſigen Aethers wurde erniedrig. Indem derſelbe der Umgebung Wärme entzog, konnte das Sieden ſo lange fortdauern, als der Druck ſchwach blieb. Aber der ſich allmählich anhäufende Dampf bildete mit der eingeſchloſſenen Luft eine Miſchung, deren Druck immer mehr zunahm; dieſer Druck wurde endlich ſtark genug, um das Sieden ganz zu unterbrechen.

Wenn wir jetzt das Gefäß abkühlen, indem wir es in naſſe Tücher oder Eis hüllen, ſo können wir den Aether im

Ballon nochmals zum Sieden bringen. Der Aetherdampf wird nämlich durch die Abkühlung theilweiſe verdichtet und der Druck im Innern des Apparats nimmt ab. So hört er auf, der Bildung von Dampfblaſen hinderlich zu ſein. Die neuen Dämpfe treten in das Reſervoir, wo ſie ſich verdichten, und das Sieden kann fortfahren. Auf dieſe Weiſe führt man eine wahre Deſtillation ohne ſichtbaren Wärmeherd aus.

Fig. 75. Kochen des Waſſers, durch Abkühlung bewirkt.

Man kann den Verſuch auch in einfacher Weiſe mit Waſſer anſtellen (Fig. 75). Zu dieſem Behuf läßt man das Waſſer in einem langhalſigen Ballon eine Zeitlang über Feuer kochen, damit der Dampf alle Luft vollſtändig austreibt; dann verſchließt man den Hals mit einem Korkpfropfen, entfernt den Ballon vom Feuer und ſenkt ihn umgekehrt mit dem Halſe in Waſſer, um den Zutritt der Luft durch die Poren des Pfropfens unmöglich zu machen. Der Dampf, welcher über der Flüſſigkeit ſchwebt, verdichtet ſich zum Theil, und es bleibt davon bald nur eine Quantität übrig, die durch ihren Druck die Bildung von Dampfblaſen verhindert. Um nun das Sieden hervorzurufen, hat man nur nöthig, kaltes Waſſer über den Bauch des Ballons zu gießen; der Dampf verdichtet ſich, der Druck wird plötzlich bedeutend vermindert, als ob

man einen luftleeren Raum über der Flüſſigkeit herſtellte, und es erſcheinen Blaſen in der ganzen Maſſe derſelben. Wenn der Apparat wieder ſeine gewöhnliche Temperatur erreicht hat, ſo kann man das Waſſer noch ein Mal zum Sieden bringen, indem man ein Stück Eis auf den Ballon legt, oder etwas Aether darüber hingießt.

In Summa iſt die Verdampfung einer Flüſſigkeit unter folgenden Bedingungen zu erzielen: 1) durch Verdunſtung in luftleerem Raum, oder in Gas, ſo lange bis der vorhandene Dampf das der Temperatur entſprechende Spannungs-Maximum erreicht hat; 2) durch Kochen bei conſtanter Temperatur, wenn auch der Druck dabei conſtant bleibt und dieſe Temperatur niedriger iſt als die der Umgebung; 3) durch Kochen in luftleerem Raum oder in einer künſtlichen Atmoſphäre, deren Druck ſchwächer iſt als das Spannungsmaximum des Dampfes, welches der Temperatur der Flüſſigkeit entſpricht.

Nicht alle Flüſſigkeiten laſſen ſich durch Kochen in Dampf verwandeln. Man kann wol Queckſilber bei 360 Grad zum Sieden bringen, aber die ſchwerflüſſigen Metalle, wie Gold, Platin, erfordern eine ſo außerordentlich hohe Siedetemperatur, wie wir ſie bis jetzt nicht zu erzielen vermögen. Alles was man von Körpern dieſer Art weiß, iſt, daß ſie ſich bei ſehr hohen Temperaturen ebenfalls verflüchtigen. Mehrere Flüſſigkeiten endlich werden durch die Wärme zerſetzt, was ihre Verdampfung ſehr ſchwierig macht und ihre Deſtillation oft unmöglich. In dieſen Fällen beſonders nimmt man ſeine Zuflucht zur Deſtillation in luftleerem Raum, weil dieſe bei Temperaturen ausgeführt werden kann, wo noch keine Zerſetzung ſtattfindet. In der Chemie kommt dieſe Methode oft zur Anwendung.

8. Die Geiser.

Versuchen wir nun diese Principien auf einige Erscheinungen anzuwenden, die lange Zeit hindurch den Scharfsinn der Gelehrten auf die Probe gestellt haben.

Island ist eine vulkanische Insel, auf der sich eine Kette hoher, ewig mit Schnee bedeckter Berge erhebt. Etwa zehn Vulkane befinden sich in diese Kette eingereiht, und der berühmteste unter ihnen ist der Hekla. Von den schneeigen Gipfeln steigen Gletscher nieder, durchbrochen von mächtigen Wasserfällen, welche sich am Fuße der Berge zu meilengroßen Flächen ausdehnen. Diese Wasserflächen bilden große Moräste, deren Grund durch vulkanische Wirkungen zerklüftet ist. Das Wasser zieht sich in diese Risse ein und dringt durch unterirdische Canäle nach dem Innern der Berge, wo es sich in der Tiefe erhitzt und durch die Krater als Dampfstrom wieder aufsteigt. Von Zeit zu Zeit begegnet man rauchenden Wasserplätzen, an deren Oberfläche sich große Blasen erheben, die zerplatzend ihren Schaum hoch aufspritzen. Anderswo steigen in Zwischenräumen große Strahlen kochenden Wassers senkrecht in die Höhe; dies sind die Geiser. Ueberall wohnt man der erschreckenden Wirkung des unterirdischen Feuers bei, und es scheint, als hätte die Natur an diesem einsamen Ort alle ihre Zerstörungsmittel concentrirt.

Treten wir an den Rand eines in Ruhe befindlichen Geisers, so haben wir vor uns einen wunderbaren, von der Natur selbst ausgehöhlten Brunnen. Auf der Spitze einer Erhebung von einigen Metern zeigt sich ein kreisrundes Becken, mit einer dem Bergkrystall ähnlichen Schicht überzogen; den Mittelpunkt bildet eine geräumige Röhre, deren Tiefe oft sehr beträchtlich ist und deren Wände ebenfalls mit

dem krystallartigen Niederschlag bedeckt sind. „Ein leichter Dampf", sagt Tyndall, „kräuselt sich an der Oberfläche, das Wasser des Brunnens ist vom reinsten Azurblau und färbt mit seinen wundervollen Nüancen auch die phantastischen Krystallisationen der Wände." Der berühmteste Geiser von Island befindet sich auf der Spitze eines 12 Meter hohen Hügels; sein fast kreisrundes Becken ist 17 Meter breit, sein Canal 3 Meter im Durchmesser und 23 Meter Tiefe.

Wenn ein Ausbruch stattfinden soll, so füllen Canal und Becken sich mit heißem Wasser an; der Boden wankt, und während das Wasser heftig bewegt ist, läßt sich ein unterirdisches, donnerähnliches Getöse vernehmen. Das Wasser hebt sich kochend und sprudelt in dem Becken über; plötzlich wird eine gewaltige Wassersäule mit Dampf gemischt senkrecht in die Luft geschleudert; dann fällt die ausgeworfene Masse in das Becken zurück und nach einem dumpfen Getöse wird Alles wieder ruhig wie zuvor. Aber diese Ruhe ist nur momentan; die Ergießungen erfolgen mehrere Jahre lang in regelmäßigen Intervallen; dann hören sie ganz auf. Es bleibt von dem Geiser nichts als der Canal, in den die warme Quelle fortfährt ihr Wasser zu ergießen, bis sie einen anderen Ausgang findet.

Der berühmte deutsche Chemiker Bunsen hat den Großen Geiser aufmerksam beobachtet und nicht allein die Theorie davon gegeben, sondern auch ein Experiment erdacht, das den hauptsächlichsten Effect eines Geisers wiedergiebt.

Der Apparat, welcher zu diesem Versuch benutzt wird, besteht aus einer vertikalen Eisenröhre von 2 Meter Länge, welche oben in ein Becken mündet. Man füllt die Röhre mit Wasser und erwärmt dieses an zwei Punkten; zuerst am Boden der Röhre vermittelst eines Feuerherdes und dann

Fig. 76. Theorie der Geiſer.

60 Centimeter höher mit Hilfe eines ringförmigen Gitters. (Figur 76). Wenn das Waſſer eine Zeitlang gewärmt iſt, ſteigt ein heißer Strahl in die Luft, fällt wieder in das Becken zurück, füllt die Röhre aufs Neue und nach einigen Detonationen iſt die Ruhe hergeſtellt. Einige Minuten ſpäter wiederholt ſich das Phänomen. Da haben wir alſo dieſelben, in Zwiſchenpauſen wiederkehrenden Exploſionen, wie bei einem Geiſer: erklären wir ſie uns.

Das auf dem Grunde der Röhre befindliche Waſſer ſoll unter dem Druck der Atmoſphäre, verſtärkt durch den einer Waſſerſäule

von 2 Meter Höhe, kochen, folglich bei einer Temperatur von 105 Grad. Das 60 Centimeter höher befindliche Waſſer hat nur den Druck der Atmoſphäre, nebſt dem einer Waſſerſäule von 140 Centimeter zu überwinden, und wird deshalb bei ohngefähr 103 Grad kochen. Wenn es aber in dem Augenblick, wo es dieſe Temperatur beinahe erreicht hat, aufhört, einem ſolchen Druck unterworfen zu ſein, wenn man alſo zum Beiſpiel die Säule von 140 Centimeter aufhebt, ſo muß es ſich ſofort in Dampf verwandeln, indem es zu 100 Grad herunterſteigt, denn man weiß, daß dieſes die Siedetemperatur des Waſſers unter dem gewöhnlichen Druck einer Atmoſphäre iſt. Denken wir uns alſo das Waſſer in der Höhe des Gitters beinahe auf 103 Grad gebracht, und das auf dem Grunde bei 105 Grad zum Sieden gebracht; der dadurch gebildete Dampf wird die Waſſerſäule in der ganzen Röhre erheben, das Becken mit Waſſer füllen und die bis 103 Grad erwärmte Waſſerſchicht nach oben drängen; dieſelbe trägt jetzt weniger als 140 Centimeter Waſſer, und verwandelt ſich in Dampf, welcher das übrige Waſſer in einem kräftigen Strahl emportreibt. Dieſer Strahl kühlt ſich in der Luft ab und fällt in flüſſigen Tropfen in das Becken zurück, welche den in der Röhre gebliebenen Dampf ebenfalls abkühlen; alles Waſſer aus dem Becken ſtürzt ſich in den Apparat, wie in einen luftleeren Raum, und es giebt einen heftigen Zuſammenſtoß; einige Dampfblaſen können ſich an den heißen Wänden bilden, werden aber ſofort wieder durch die Berührung der kalten Waſſerſchichten verdichtet. Dies iſt die Urſache der kurzen Detonationen, die ſich hören laſſen, ehe Alles in Ruhe kommt. Die Wärmequellen ſetzen aber ihre Wirkung fort, und nach einiger Zeit findet ein neuer Ausbruch ſtatt.

Dies giebt uns ein Bild vom Geiſer. Bunſen hat die Temperaturen des Waſſers im Großen Geiſer in verſchiedenen Tiefen gemeſſen und gefunden, daß ſie von unten nach oben zu regelmäßig abnehmen. Die Waſſerſchicht, welche 9 Meter über dem Grunde lag, hatte nur 2 Grad weniger als die Siedetemperatur, welche dem auf ihr laſtenden Druck entſprach. Sie durfte nur um 2 Meter erhoben werden, um in volles Sieden überzugehen und die ganze über ihr befindliche Waſſerſäule herausſchleudern zu können. Dieſe Erhebung wird aber durch die Dämpfe bewirkt, welche durch unterirdiſche Canäle aus den vulkaniſchen Tiefen auf den Grund des Geiſerbrunnens geleitet werden.

Dieſe ſinnreiche Theorie erklärt alle Erſcheinungen der Geiſer. Das Waſſer, welches dieſelben unterhält, iſt mit einer kieſelartigen Subſtanz vermiſcht, die ſich bei der Verdampfung des Waſſers an den Wänden des Beckens ablagert. Das Becken wird ſo allmählich erhöht und mit ihm auch die Oeffnung der Röhre und die Anhöhe, welche ſie umgiebt. Auf dieſe Weiſe wurde der Geiſer langſam durch eine kieſelhaltige Quelle conſtruirt, ehe die Ausbrüche begannen. Urſprünglich exiſtirte da nur eine einfache Oeffnung, aus der der Dampf aufſtieg; nach und nach erhob ſich darüber die kryſtalliniſche Röhre. Die Ausbrüche fingen an, ſobald die Röhre eine genügende Quantität Waſſer enthalten konnte, um dem Ausſtrömen des Dampfes einen Widerſtand entgegen zu ſetzen, ohne jedoch das Sieden auf dem Grunde zu verhindern. Später kommt eine Zeit, wo durch fortwährende Zunahme der Röhrenlänge, die Waſſerſäule ſo hoch wird, daß das Waſſer nicht mehr kochen kann; der unterirdiſche Dampf ſucht ſich einen andern Ausweg und der Geiſer erliſcht.

9. Die Flüssigkeiten im Sphäroidalzustande. — Wie der menschliche Körper unverbrennbar sein kann.

Die Erscheinungen, die sich zeigen, wenn Flüssigkeiten mit stark erhitzten Körpern in Berührung gebracht werden, sind noch viel merkwürdiger, und erst vor Kurzem ist es gelungen, sie vollständig zu erklären. Man weiß, daß man die Hand in zerschmolzenes Blei tauchen, schmelzende Metalle berühren, die Zunge an ein glühendes Eisenstück halten kann, ohne sich zu verbrennen. Die Arbeiter in den Gießereien kennen diese Thatsachen, und neuerdings hat Boutigny ein gründliches Studium daraus gemacht, indem er die Experimente alle selbst wiederholte. Will man diese höchst sonderbaren Effecte selbst constatiren, so muß man sich die Hände zuvor mit einer sehr flüchtigen Substanz, wie Alkohol oder Aether benetzen. Unter Umständen kann auch die eigene Feuchtigkeit der Haut genügen, besonders unter dem Einfluß einer gewissen Aengstlichkeit. Natürlich muß der Versuch sehr schnell und gewandt ausgeführt werden, die bloße Wärmestrahlung kann sonst die benachbarten Theile der Hand, welche das geschmolzene Blei berührt, verbrennen. Die momentane Unverbrennbarkeit der Haut hat ihren Grund in der dünnen Flüssigkeitsschicht, welche dieselbe benetzt und die Wärme aufhält. Die Erklärung dieser Thatsache finden wir in einer Reihe von Experimenten, die weniger gefährlich sind.

Erhitzen wir eine gut polirte Eisenschale über Kohlenfeuer bis zum Rothglühen und spritzen dann einige Tropfen kalten Wassers hinein; sie werden zusammenfließend eine durchsichtige Kugel mit wellenförmig abgerundeten Rändern bilden, die sich unaufhörlich um sich selbst dreht (Fig. 77); kein Sieden ist zu sehen, kein Dampf zeigt sich, und dennoch

nimmt das Kügelchen nach und nach an Volumen ab. Es findet alſo eine langſame Verdunſtung an der ganzen Oberfläche ſtatt; aber ſie kann ſo außerordentlich langſam ſein,

Fig. 77. Der ſphäroidale Zuſtand der Flüſſigkeiten.

daß es Pouillet zum Beiſpiel gelang, einen großen rothglühenden Platinatiegel mehrere Stunden mit Waſſer gefüllt zu erhalten. Der Dampf, welcher das Kügelchen einhüllt, verhindert die unmittelbare Berührung deſſelben mit dem heißen Metall. Indem er nach allen Seiten entweicht, furcht er den Rand der Kugel, zackt ihn aus, und erhält den flüſſigen Ball in fortwährender zitternder Bewegung. Derſelbe ruht auf dem Dampf, wie auf einem federnden Kiſſen, welches ihn fortwährend emporſchnellt, und es ſieht ſo aus, als wollte er vor dem Feuer fliehen, würde aber durch eine unſichtbare Gewalt beſtändig zurückgezogen.

Um die Exiſtenz dieſes Dampfkiſſens nachzuweiſen, erhitzt man eine gut polirte horizontale Metallplatte (Fig. 78), und läßt auf dieſelbe einen Tropfen kaltes Waſſer fallen, der ſich

ſofort in ein Kügelchen zuſammenzieht. Schwärzt man dieſes Kügelchen mit etwas Dinte und verſucht unter demſelben hindurch nach einer Lichtflamme zu ſehen, ſo wird man dieſe

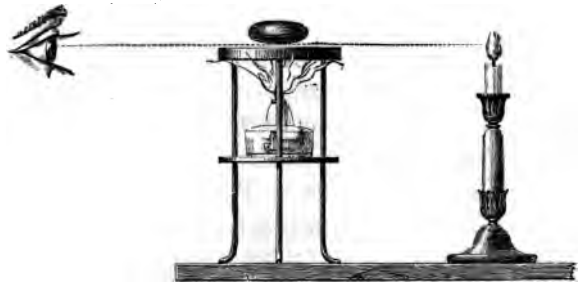


Fig. 78. Die Lichtflamme, zwiſchen dem Kügelchen und der Platte geſehen.

zwiſchen dem Kügelchen und der heißen Platte ganz deutlich erblicken; man ſchließt daraus, daß ein feiner Dampfſtrich dieſelben trennt. Dieſes Experiment wird ſehr ſchön durch Projection. Läßt man auf das Kügelchen ein Lichtſtrahlenbündel in horizontaler Richtung fallen und ſtellt auf die andere Seite eine Glaslinſe, ſo bildet ſich auf einem weißen Schirm ein umgekehrtes Bild, in welchem man das Kügelchen, die Metallplatte, das Spiegelbild des Kügelchens in der Platte und die dünne transparente Dampfſchicht, die Beide trennt, deutlich unterſcheidet.

Welche Temperatur hat das Waſſer, wenn es ſich in dieſem Zuſtande befindet, den man den ſphäroidalen Zuſtand nennt? Man kann die Waſſerkugel groß genug machen, um ein Thermometer hineinzuſenken, und es zeigt ſich dann, daß die Temperatur immer niedriger iſt als 100 Grad (nach Berger 96 bis 98 Grad am Boden, und etwa 90 Grad an dem oberen Rande der Kugel).

Die Thatſache gilt für alle Flüſſigkeiten: träufelt man Aether in die glühende Schale, ſo wird die Temperatur nicht 36 Grad erreichen, der Aether alſo weder kochen, noch ſich entzünden können. Thut man flüſſige ſchweflige Säure hinein, die bei 10 Grad unter Null kocht, ſo wird das Kügelchen noch einige Grade kälter ſein. Fügt man dieſem Kügelchen noch einige Tropfen Waſſer bei, ſo gefriert letzteres augenblicklich, man hat alſo in einer rothglühenden Metallſchale Eis erzeugt. Dieſes Experiment kann man auch in größerem Maßſtabe ausführen, z. B. in einen ſtark erhitzten Platinatiegel eine große Quantität flüſſige ſchweflige Säure gießen und Waſſer darauf gießen; ſo erhält man eine beträchtliche Eismaſſe. Faraday hat ſogar flüſſige Kohlenſäure, die noch flüchtiger als ſchweflige Säure iſt, bei 100 Grad unter Null dieſen ſphäroidalen Zuſtand annehmen und 30 Gramm Queckſilber in 2 bis 3 Secunden gefrieren ſehen.

Alles dieſes beweiſt einfach, daß flüchtige Flüſſigkeiten in ſtark erhitzte Gefäße gebracht, die Siedetemperatur nicht erreichen und blos an ihrer Oberfläche verdunſten können.

Damit dieſer ſphäroidale Zuſtand ſich einſtellt, muß die metalliſche Unterlage über eine gewiſſe Temperaturgrenze hinaus erhitzt werden, welche für jede Flüſſigkeit eine andere, und zwar deſto niedriger iſt, je flüchtiger die Flüſſigkeit iſt; nach Boutigny beträgt ſie 142 Grad für Waſſer, 61 Grad für den Aether. Wenn die Flüſſigkeit den ſphäroidalen Zuſtand angenommen hat und man das Gefäß abkühlen läßt, bis ſeine Temperatur dieſe Grenze erreicht hat, ſo berührt die Flüſſigkeit es unmittelbar und fängt mit großer Heftigkeit zu kochen an. Folgendes Experiment beweiſt dies auf ſchlagende Weiſe und bietet noch ein ganz beſonderes Intereſſe,

weil es eine der Urſachen der Exploſionen von Dampfkeſſeln kennen lehrt.

Eine kupferne Flaſche (Fig. 79) wird ſtark erhitzt und Waſſer hineingegoſſen, welches den ſphäroidalen Zuſtand annimmt; darauf pfropft man die Flaſche feſt zu und läßt ſie abkühlen. Wenn die Temperatur auf 142 Grad gefallen iſt, ſo tritt das Sieden ein, es entwickelt ſich plötzlich eine bedeutende Quantität Dampf und treibt den Pfropfen hinaus.

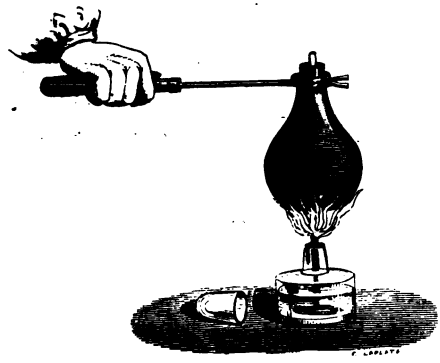


Fig. 79. Exploſion durch Abkühlung des Waſſers im ſphäroidalen Zuſtande bewirkt.

Wenden wir dies auf den Keſſel einer Dampfmaſchine an. Wenn er ſich in normalen Verhältniſſen befindet, ſo wirkt die Flamme der Feuerung nur auf Wände, welche mit dem Waſſer in Berührung ſtehen; dieſes erreicht ſeine conſtante Siedetemperatur und verhindert auch die Metallwände eine höhere Temperatur anzunehmen. Tritt aber irgend eine Urſache ſtörend dazwiſchen, z. B. eine Ablagerung von Keſſelſtein an den Wänden, ſo erhitzen ſich dieſe bis zum Rothglühen. Bekommt nun dieſe Kruſte zufällige Sprünge, ſo berührt das Waſſer die glühenden Wände und nimmt den

ſphäroidalen Zuſtand an; wenn man dann aufhört zu heizen und das Metall ſich abkühlt, ſo fällt die Temperatur deſſelben in einem gewiſſen Augenblick auf 142 Grad, es entwickelt ſich plötzlich eine große Menge Dampf, und der Keſſel ſpringt, wenn er nicht ſehr ſtarke Wände hat.

Dieſelbe Erſcheinung zeigt ſich in anderer Form beim Eintauchen eines rothglühenden Körpers in eine kalte Flüſſigkeit. Erhitzen wir eine Metallkugel an einem Eiſendraht bis zum Rothwerden und tauchen ſie dann ſchnell in kaltes Waſſer, ſo hören wir ein Gepraſſel und die Kugel bleibt eine Weile roth, ohne daß das umgebende Waſſer ſich zu erwärmen ſcheint; es bildet ſich nämlich rings um die Kugel eine Dampfſchicht, welche die Berührung mit dem Waſſer verhindert. Aber die Abkühlung bringt die Kugel ſpäter auf 142 Grad, und der Contact ſtellt ſich wieder her; in demſelben Augenblick beginnen die nächſten Waſſerſchichten heftig zu kochen und es findet eine kleine Exploſion ſtatt. Die Glasbläſer benutzen dieſe Thatſache folgendermaßen. Sie ſenken die glühendheiße Glasmaſſe, die ſich am unteren Ende des Blaſerohrs befindet, in kaltes Waſſer, bringen ſie in eine ſchnelle drehende Bewegung und formen ſie ſo. Darauf blaſen ſie in das Rohr; in der weichen Glaskugel entſteht eine Höhlung, in welche ſie etwas Waſſer einführen, worauf ſie die Oeffnung des Rohrs mit dem Finger verſchließen. Der Dampf dieſes Waſſers drückt gegen die Wände der Kugel, dehnt ſie aus und vergrößert allmählich ihren Umfang. Alles das geſchieht ohne Exploſion, weil das Glas ſehr heiß iſt und das Waſſer, welches es zu berühren ſcheint, in ſphäroidalem Zuſtande iſt und nur langſam verdunſtet.

Es handelt ſich nun darum, die eben conſtatirten Thatſachen auch zu erklären. Die Beobachtung hat uns gelehrt,

daß kein Contact zwiſchen der Flüſſigkeit und dem erhitzten Körper ſtattfindet, und daß die Temperatur der Flüſſigkeit ſtets unter ihrem Siedepunkt bleibt. Man begreift leicht, daß der an der Oberfläche der Flüſſigkeit erzeugte Dampf den leeren Raum einnimmt, der dieſe von der Unterlage trennt; aber genügt die Spannkraft dieſes Dampfes, um die Trennung zu erhalten, und iſt die Verdunſtung des Tropfens die Urſache ſeiner Kugelgeſtalt? Es ſcheint natürlicher, die Urſache dieſer Erſcheinungen in einer Wechſelwirkung zwiſchen der Flüſſigkeit und dem Metall zu ſuchen. Ein Waſſertropfen der auf eine berußte Fläche fällt, kugelt darüber hin, ohne die Fläche zu benetzen, gerade als ob man ihn in ein glühendes Gefäß würfe. Scheint es nicht, daß dieſe beiden Wirkungen derſelben Urſache entſpringen? Jede Flüſſigkeit, deren Moleküle keiner andern Wirkung als ihrer gegenſeitigen Anziehung unterworfen ſind, nimmt die Kugelform an. Sieht man ſie eine andere Form annehmen, ſo kann man vorausſetzen, daß die Moleküle von irgend einer anderen äußeren Kraft angetrieben werden. Verbreitet ſich eine Flüſſigkeit, z. B. über eine Oberfläche, indem ſie dieſelbe benetzt, ſo ſchließt man daraus, daß eine Anziehungskraft vorhanden iſt, welche die Theilchen der Flüſſigkeit und die der Oberfläche zuſammenführt und der Cohäſion entgegenwirkt. Wenn die innere Cohäſion der Flüſſigkeit mehr als das Doppelte ihrer Anziehung zu dem feſten Körper beträgt, ſo netzt ſie denſelben nicht mehr. Es läßt ſich nun denken, daß man durch Erhitzung des feſten Körpers die Anziehung zwiſchen dieſem und der Flüſſigkeit vermindert, ſo daß die Cohäſion der letzteren die Oberhand gewinnt, und die Flüſſigkeit ſich zuſammenballt, indem ſie ihre Unterlage nicht mehr netzt. Gewiſſe Thatſachen führen ſogar zu dem Schluß, daß die Anziehung

der Flüſſigkeit für den feſten Körper bei einer ſehr hohen Temperatur in Abſtoßung verwandelt werden kann, und daß der Dampf ſelbſt von der heißen Oberfläche zurückgeſtoßen wird: zum Beiſpiel greift die Salpeterſäure in ſphäroidalem Zuſtande eine heiße Kupferplatte nicht an, was jedenfalls geſchehen müßte, wenn eine Berührung ſtattfände. Wie dem auch ſei, jedenfalls müſſen wir die Urſache des Nichtvorhandenſeins einer Berührung in den Molekularkräften ſuchen.

Es bleibt nun aber noch zu erklären, weshalb die Flüſſigkeit die Siedetemperatur nicht erreichen kann, und wir werden hier Gelegenheit finden, die Wärmegeſetze, welche wir bereits kennen, zur Anwendung zu bringen.

Die Wärme kann nicht leicht durch Leitbarkeit aus dem feſten Körper in die Flüſſigkeit übergehen, weil die kleine Dampfſchicht ein ſchlechter Wärmeleiter iſt. Offenbar erwärmt die Flüſſigkeit ſich durch Strahlung; ein Theil der Strahlen wird aber von der Oberfläche der Flüſſigkeit zurückgeworfen, und nur der Reſt wird abſorbirt. Die abſorbirte Wärme dient zur Temperaturerhöhung der Flüſſigkeit und zu ihrer Verdampfung Es wird nur eine ſehr geringe Wärmequantität zur Temperaturerhöhung angewandt; die Verdampfung verbraucht faſt alle abſorbirte Wärme, die ſelbſt nur ein Bruchtheil der ſämmtlichen vom glühenden Körper gegen die Flüſſigkeit geſtrahlten Wärme iſt. Je ſtärker er glüht, deſto kleiner iſt dieſer Bruchtheil, denn die leuchtenden Strahlen haben nur wenig erwärmende Wirkung. So erklärt ſich hier Alles ganz einfach, ohne daß man nöthig hätte, die Exiſtenz einer neuen Kraft zu vermuthen, wie es mehrere Autoren gethan haben.

Zum Schluß noch ein Beiſpiel, welches ſich den obigen anreiht.

Man erzählt, daß zwei engliſche Bildhauer, Blagden und Chantrey, den gefährlichen Verſuch machten, ſich in einen Ofen, deſſen Temperatur mehr als 100 Grad betrug, zu begeben, und daß ſie nach einiger Zeit unverletzt daraus hervorgingen. Es liegt nichts Wunderbares darin, wenn man bedenkt, daß der menſchliche Körper ein waſſerhaltiges Gewebe iſt, und daß dieſes Waſſer durch Transpiration an die Oberfläche der Haut gelangen und hier verdunſten kann. Befindet der Körper ſich in einem Raum von hoher Temperatur, ſo wird die Wärme innerlich zum Hervorrufen der Transpiration verbraucht; ſie kann alſo die Temperatur nur langſam erheben. Auf der Oberfläche ſchützt reichlicher Schweiß die Haut vor dem Verbrennen; er beſteht aus dem Waſſer des Körpers, welches an der Oberfläche zu ſchnell verdampft, als daß die Temperatur merklich ſteigen könnte. Man kann ſagen, daß faſt alle von dem Ofen gegen die Körper der beiden Männer geſtrahlte Wärme durch die Transpiration zerſtört wurde.

Neuntes Kapitel.

Veränderung des Aggregatzuſtandes.

1. Uebergang der Gaſe in flüſſigen Zuſtand und der Flüſſigkeiten in feſten Zuſtand.

Im vorigen Kapitel haben wir geſehen, wie durch Wärme die feſten Körper flüſſig, die Flüſſigkeiten gasförmig werden, und wie durch die Kälte die entgegengeſetzten Veränderungen zu Stande kommen. Dieſelbe Subſtanz kann je nach den Umſtänden feſt, flüſſig, oder gasförmig ſein, jeder dieſer Zuſtände entſpricht einer beſonderen Anordnung der Atome, welche durch ihre Einwirkung auf einander und durch die Quantität fühlbarer Wärme, die ſie beſitzen, beſtimmt wird, ſo daß man der Theorie nach jede Subſtanz in jedem dieſer drei Zuſtände muß herſtellen können. Wenn dieſes Reſultat noch nicht mit allen Subſtanzen erreicht worden iſt, ſo liegt das an der Unzulänglichkeit der dabei angewandten Mittel. Sauerſtoff und Stickſtoff, zum Beiſpiel, aus denen die Luft beſteht, kennt man bis jetzt erſt im gasförmigen Zuſtande, ihre Analogie mit anderen Stoffen berechtigt uns aber zu der Annahme, daß auch ſie in flüſſigem oder feſtem Zuſtande vorkommen können, unter Umſtänden freilich, die vorläufig noch nicht hervorzurufen möglich war.

Man weiß, daß Wasserdampf beim Erkalten in den flüssigen Zustand übergeht; Wasser durch Abkühlung den Zustand von Eis annimmt. Die Abkühlung eines Gases ist also ein Mittel, dasselbe flüssig zu machen; ein Beispiel davon haben wir an dem schwefligsauren Gase. Füllt man mit demselben eine große Blase oder einen Kautschukſack, und befestigt an der Oeffnung eine Glasröhre, die man mit einer Mischung von Salz und Eis umgiebt (Fig. 80), so kann

Fig. 80. Schweflige Säure durch Abkühlung flüssig gemacht.

man durch diese Mischung die Temperatur der Röhre auf beinahe 20° unter Null bringen. Durch leichten Druck auf die Blase läßt man das Gas langsam in die kalte Röhre treten und erhält in derselben eine klare, sehr flüchtige Flüssigkeit mit dem scharfen Geruch des Gases. Diese Flüssigkeit siedet unter dem gewöhnlichen Druck bei 10° unter Null.

Noch eine andere Methode giebt es, die Gase in flüssigen Zustand zu versetzen: nämlich die Compression. Im vorigen Kapitel haben wir gesehen, daß die Spannkraft des Dampfes bei einer gegebenen Temperatur einen gewissen Werth nicht übersteigen kann. So kann Wasserdampf bei 100° keine

höhere Spannkraft haben, als die Atmoſphäre, bei 120° iſt die Grenze zwei Atmoſphären gleich, u. ſ. f. Für ſchweflige Säure iſt bei 10° unter Null das Maximum der Spannkraft ihres Dampfes gleich einer Atmoſphäre; bei gewöhnlicher Temperatur gleich drei Atmoſphären. Wenn wir alſo ſchwefligſaures Gas bei der gewöhnlichen Temperatur in den kurzen Schenkel einer Glasröhre verſchließen, wie Figur 81 zeigt, und dann in den längeren Schenkel Queckſilber einführen, ſo übt die Queckſilberſäule, wenn ſie die Höhe von 152 Centimeter erreicht hat, auf das Gas den höchſten Druck aus, den dieſes ertragen kann. Fügen wir dann noch mehr Queckſilber hinzu, ſo bleibt die Niveaudifferenz in den beiden Schenkeln der Röhre unverändert gleich 152 Centimeter, ein Beweis, daß das Maximum der Spannkraft erreicht iſt. Aber während das Volumen des Gaſes abnimmt, erſcheint an der Oberfläche des Queckſilbers eine flüſſige Schicht, und indem man fortfährt, durch die längere Röhre Queckſilber einzuführen, kann man das Gas vollſtändig verſchwinden machen, ſo daß nur Flüſſigkeit in dem kürzern Schenkel bleibt. Wenn der-

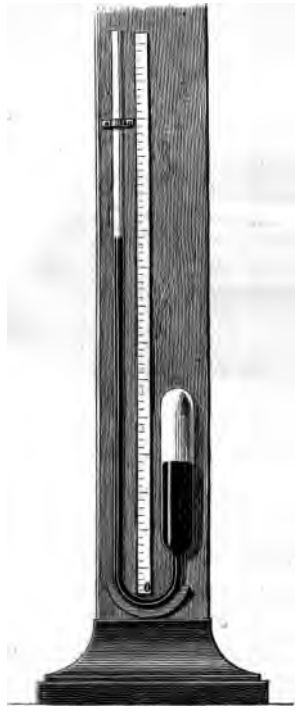


Fig. 81. Schweflige Säure durch Druck flüſſig gemacht.

ſelbe beim Beginn des Experiments etwa ein halbes Liter Gas enthielt, ſo wird die Flüſſigkeit jetzt, nach vollſtändiger Verdichtung, ohngefähr 1 Cubikcentimeter einnehmen.

Wenn man nach dieſer Methode eine große Quantität Gas verdichten will, ſo wendet man dazu eine Gaspumpe an, die das Gas, welches auf chemiſchem Wege entwickelt worden iſt, auffaugt und in einen Recipienten, in dem es aufbewahrt werden ſoll, hineindrängt. Davy und Faraday haben eine große Anzahl von Gaſen nach folgendem Verfahren in flüſſigen Zuſtand übergeführt.

In eine dickwandige, gebogene Glasröhre (Fig. 82),

Fig. 82. Verwandlung der Gaſe in Flüſſigkeiten nach Faraday's und Davy's Verfahren.

deren eines Ende geſchloſſen iſt, führt man Subſtanzen ein, welche durch Erwärmung die Gaſe entwickeln können, die

man zu verdichten beabſichtigt; hierauf wird das offene Ende am Löthrohr erweicht und hermetiſch verſchloſſen. Dieſes Ende ſenkt man in eine aus Salz und Eis beſtehende Miſchung und erwärmt die Röhre am anderen. Das Gas wird durch die Wärme entwickelt, und da es in der Röhre eingeſchloſſen bleibt, nimmt ſeine Spannkraft ſtufenweiſe zu, bis ſie ihr Maximum erreicht hat. Von dieſem Augenblick an erſcheint die Flüſſigkeit in dem kalten Schenkel der Röhre, und ſo lange Gas befreit wird, nimmt ſie an Volumen zu.

Dieſes Verfahren wurde 1834 von Thilorier im Großen angewandt zur Flüſſigmachung des kohlenſauren Gaſes. Er

Fig. 83. Thiloriers Apparat zur Flüſſigmachung der Kohlenſäure.

ließ einen Appparat anfertigen (Fig. 83), der hauptſächlich aus zwei ſehr ſtarken Metallbehältern beſteht und mit Hähnen

von einer beſondern Form verſehen iſt. In den einen dieſer Behälter, den Generator, bringt man doppeltkohlenſaures Natron und eine am oberen Ende offene Kupferröhre mit Schwefelſäure gefüllt. Darauf verſchließt man den Behälter und ſtülpt ihn um, indem man ihn um eine horizontale Achſe dreht. Die Säure miſcht ſich mit dem Salze und befreit kohlenſaures Gas, welches bald das Maximum ſeiner Spannkraft erreicht — ohngefähr 50 Atmoſphären bei der gewöhnlichen Temperatur. Nun wird eine Verbindungsröhre zwiſchen dem Generator und dem Recipienten angebracht und die Hähne werden geöffnet. Das kohlenſaure Gas begiebt ſich in den Recipienten, verdichtet ſich hier, weil die Temperatur des Generators höher iſt, als die des Recipienten, infolge der chemiſchen Wirkung, die darin vorgeht. Es findet nun eine wirkliche Deſtillation aus dem warmen Behälter nach dem kalten ſtatt, ſo daß die durch Verdichtung des Gaſes gewonnene Flüſſigkeit ſehr rein iſt. Zuletzt ſchließt man den Recipienten, entfernt die Verbindungsröhre, und das Verfahren iſt beendet. Wir werden gleich ſehen, welchen Gebrauch man von der flüſſigen Kohlenſäure macht.

Die Gewinnung dieſes Präparates iſt mit großer Gefahr verknüpft, weil der Druck in den Behältern ein ganz enormer iſt; er kann 15 Mal ſtärker, als der des Dampfes in unſern Locomotiven werden, und nur ganz außerordentlich feſte Bände ſchützen vor einer Exploſion. Solch ein trauriger Zufall verurſachte ſchon den Tod eines Gehülfen Thiloriers; ur Zeit aber, nach vielen gründlichen Studien und Verſuchen, iſt die Conſtruction des Apparates eine ſo vortreffliche eworden, daß man ſich ſeiner ohne Furcht bedienen kann. eder Behälter wird von drei übereinander liegenden Metalländen gebildet; die innere beſteht aus Blei, die mittlere

aus Kupfer und die äußere aus lauter Reifen von geſchmiedetem Eiſen. So hält der Apparat einen Druck von 1000 Atmoſphären aus.

Das Erſtarren der Flüſſigkeiten wird immer durch Abkühlung erhalten. Nach der Theorie könnten die Flüſſigkeiten, welche ſich bei dem Uebergang in den feſten Zuſtand zuſammenziehen, auch durch Compreſſion feſt gemacht werden; man hätte dazu aber eines ſo bedeutenden Druckes nöthig, daß dieſes Verfahren unpraktiſch iſt. Die künſtliche Kälteerzeugung iſt im Gegentheil ſehr leicht und wir wollen die dazu gebräuchlichen Methoden jetzt angeben.

2. Künſtliche Kälte. — Eisfabrikation. — Feſte Kohlenſäure.

Eine erſte Methode beſteht in der Benutzung der nächtlichen Ausſtrahlung, deren Wirkungen im vierten Kapitel erklärt worden ſind. Wir haben geſehen, wie nach dieſer Methode in Bengalen Eis gewonnen wird; aber mit ihr erreicht man noch keine ſehr intenſive Kälte, und wir erinnern nur an ſie, weil ſie ihrer großen Einfachheit wegen eine gewiſſe induſtrielle Bedeutung hat.

Eine zweite Methode reſultirt aus den Beziehungen, welche wir zwiſchen Wärme und mechaniſcher Arbeit erkannt haben. Allemal, wenn eine mechaniſche Arbeit geleiſtet worden iſt, ohne daß eine entſprechende Arbeit, aus der Wirkung einer bewegenden Kraft herrührend, verbraucht wurde, zeigt ſich in dem Körper, in welchem dieſe Arbeit geleiſtet ward, ein Deficit fühlbarer Wärme; dieſe Wärme verſchwindet, ohne daß man ſie in den benachbarten Körpern wiederfinden könnte. Es iſt alſo natürlich, anzunehmen, daß ſie in mechaniſche Arbeit verwandelt wurde.

Es ſei z. B. ein Metallbehälter (Fig. 84) mit comprimirter Luft angefüllt und durch einen Hahn verſchloſſen. Hält man nun ein Thermometer vor die Ausflußröhre und öffnet den Hahn, ſo ſchießt ein ziſchender Luftſtrom heraus, trifft das Thermometer und dieſes zeigt ein Sinken der Temperatur an. Wenn der Behälter in Waſſer ſtehen würde, ſo könnte man ſogar eine Abkühlung dieſes Waſſers conſtatiren, was beweiſt, daß während des Ausfluſſes ein Theil der fühlbaren Wärme der comprimirten Luft verſchwunden iſt. Dieſer Verluſt wurde theilweiſe durch die Wärme erſetzt, welche die benachbarten Körper der erkälteten Luft abgegeben haben; aber ſchließlich fehlt doch dieſen Körpern und der Luft eine gewiſſe Quantität Wärme, ohne daß man ſie irgendwo wiederfinden könnte.

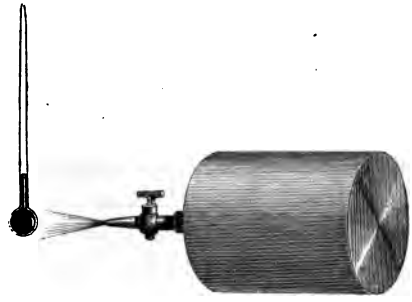


Fig. 84. Kälte durch einen Luftſtrom erzeugt.

Analyſiren wir dieſe Erſcheinung. In dem Augenblick, wo der Hahn geöffnet wurde, hat die Spannkraft der comprimirten Luft die vor der Mündung befindlichen Schichten der Atmoſphäre gewaltſam zurückgedrängt, und das Reſultat iſt mechaniſch daſſelbe, als befände ſich über dem Hahn ein langes Rohr, in welchem ein belaſteter Kolben aufwärts getrieben würde. Denken wir uns, dieſer Kolben habe einen Querſchnitt von 1 Quadratdecimeter, und ſei mit 103 Kilogrammen belaſtet, welches dem Druck der Atmoſphäre ent-

ſpricht. Nehmen wir ferner an, die comprimirte Luft hebt dieſen Kolben um 4 Meter, bis das Gleichgewicht hergeſtellt iſt; die damit ausgeführte Arbeit betrüge 412 Kilogrammeter, und eine Wärmeeinheit wäre verſchwunden; das Volumen des Gaſes hätte dabei um 40 Liter zugenommen. Jedesmal, wenn ein Gas ſich in der Atmoſphäre ausbreitet, nachdem es in einem Reſervoir comprimirt war, entſprechen der Volumenzunahme von 40 Liter eine ausgeführte Arbeit und eine Quantität verſchwundener Wärme, deren Werth die vorhergenannten Zahlen angeben.

Die Kälte, welche durch die Ausdehnung der Gaſe erzeugt wird, hat man zur Eisbereitung benutzt. Denken wir uns eine Maſchine, in welcher ein Stempel Luft in einen Cylinder ſaugt und dieſelbe dann langſam in einem Reſervoir comprimirt. Eine gewiſſe Quantität mechaniſcher Arbeit wird bei dieſer Operation verbraucht, und die Temperatur des comprimirten Gaſes wird ſich nicht merklich erheben, wenn dieſe Operation langſam genug vor ſich geht, daß die durch die Compreſſion erzeugte Wärme in die benachbarten Körper übergehen kann. Die comprimirte Luft läßt man darauf ſchnell in einen von Waſſer umgebenen Cylinder ſtrömen, und ihre Temperatur ſinkt dadurch von ſelbſt bis unter Null; ſie entzieht dem Waſſer eine Quantität Wärme, dieſes kühlt ſich ab, erreicht endlich eine Temperatur unter Null und gefriert. Dieſe Vorgänge erfolgen in continuirlicher Weiſe und laſſen ſich, wie folgt, zuſammenfaſſen:

Erſte Periode. — Die gewöhnliche Luft wird langſam comprimirt, ohne ihre Temperatur zu ändern, was einen Verbrauch von Arbeit mit ſich führt.

Zweite Periode. — Die comprimirte Luft breitet ſich plötzlich aus, und ihre Temperatur ſinkt unter Null.

Dritte Periode. — Die ausgedehnte kalte Luft erreicht wieder die Temperatur von 0° und den gewöhnlichen Druck, indem sie dem Wasser Wärme entzieht und dasselbe in Eis verwandelt.

Auf dieses Princip hat man neuerdings in England ein Verfahren zur Fabrikation des Eises im Großen gegründet. Eine Dampfmaschine setzt die Luftpumpe in Bewegung, und nach der Aussage des Erfinders Kirk kann man eine Quantität Eis damit gewinnen, die fast ebenso groß als die der verbrauchten Kohlen ist.

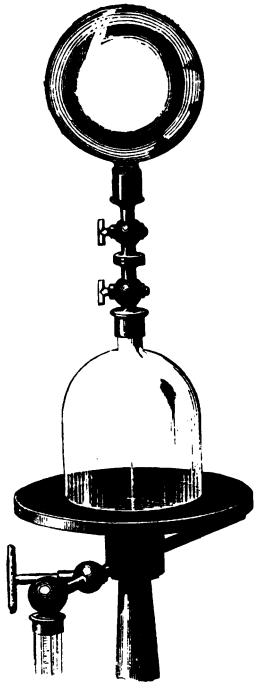


Fig. 85. Verdichtung des Wasserdampfes durch Expansion.

Die Expansion der feuchten Luft bringt Kälte hervor, welche die Verdichtung des in ihr enthaltenen Wasserdampfes und selbst sein Gefrieren bewirkt.

Durch folgenden Versuch kann man leicht veranschaulichen, wie die Expansion der feuchten Luft das Entstehen eines Nebels verursacht. Man setzt zwei Glasbehälter in Verbindung, deren einer mit Wasserdampf gesättigte Luft enthält, während der andere luftleer ist. (Fig. 85.) Wenn man die Hähne öffnet, so sieht man ein leichtes Gewölk in dem ersten Behälter erscheinen, während man das Zischen der Luft hört, die in den leeren Behälter strömt. Der Nebel wird sehr deutlich,

wenn man durch ihn hindurch nach einer Lichtflamme ſieht; ſie erſcheint getrübt und oft von einem regenbogenfarbigen Kreis umgeben.

Veranlaſſen lokale Urſachen in einem Punkt der Atmoſphäre eine Verminderung des Druckes, ſo ſtrömen die umgebenden Luftſchichten in den verdünnten Raum, und ihre Volumenzunahme iſt eine wirkliche Expanſion. Dieſes giebt eine neue Urſache zu Nebel, Regen und ſelbſt Schnee ab, welche wir den ſchon früher erkannten hinzufügen müſſen. Es ſteht feſt, daß die Bewegungen der Atmoſphäre, welche dieſer Urſache entſpringen, Lokalwinde bewirken und überhaupt in den meteorologiſchen Erſcheinungen eine große Rolle ſpielen.

In der Verdunſtung der Flüſſigkeiten haben wir ein drittes Mittel der Kälteerzeugung, und zwar iſt daſſelbe viel leichter anzuwenden, als die vorhergehenden. Deshalb benutzen es auch Phyſiker und Chemiker zum Flüſſigmachen einer großen Anzahl von Gaſen und zum Gefrieren ihrer Flüſſigkeiten.

Die ſogenannten Alkarazas ſind Gefäße aus poröſem Thon, in welchen das Waſſer ſich lange kühl erhält. Seit geraumer Zeit ſchon in Aſien gebräuchlich, wurden ſie von den Arabern nach Spanien importirt, von wo aus ſie auch nach Frankreich gekommen ſind. Das in ihnen enthaltene Waſſer ſickert durch die poröſen Wände, verdunſtet an der äußeren Oberfläche und entzieht die dazu nöthige Wärme dem zurückgebliebenen Waſſer. Dieſes kann dadurch bis zu 10° abgekühlt werden, wenn die äußere Temperatur 30° beträgt. Man muß die Alkarazas in den Luftzug ſtellen, damit die vom Dampf geſättigten Luftſchichten rund um das Gefäß unaufhörlich durch andere weniger feuchte erſetzt werden. In

Bengalen hängt man naſſes Laubwerk in die geöffneten Fenſter; die äußere, ſehr trockne und heiße Luft tritt durch dieſe naſſen Zweige ins Zimmer, verdunſtet das Waſſer und kühlt ſich dadurch bedeutend ab. Die erfriſchende Kühle der Laubwälder während des Sommers verdankt man derſelben Urſache.

Das Waſſer kann während der Verdampfung die Nulltemperatur erreichen; von da ab muß es, wenn die Verdampfung fortdauert, gefrieren. Dann wird die Wärme, welche der feſtwerdende Theil erzeugt, von dem verdampfenden Theile verbraucht. Jedes Gramm Waſſerdampf, welches ſich bildet, vernichtet ſo viel Wärme, als 8 Gramm Waſſer, die gefrieren, frei machen. Aber um Eis zu produciren, muß man das Waſſer zwingen, die nöthige Wärme allein herzugeben, indem man die benachbarten Körper verhindert, in merklicher Weiſe dazu beizuſteuern. Dies hat Leslie in einem bekannten Experiment zu Stande gebracht.

Eine weite, flache Schale aus dünnem Kupferblech, die etwas Waſſer enthält, ruht mit drei Metallfüßen auf einer anderen, mit concentrirter Schwefelſäure gefüllten Schale. (Fig. 86.) Dieſer Apparat wird unter die Glasglocke einer Luftpumpe geſtellt und die Luft ausgepumpt. Die Oberfläche des Waſſers beginnt augenblicklich zu verdunſten; bliebe der entſtandene Dampf aber unter der

Fig. 86. Gefrieren des Waſſers durch Verdunſtung.

Glocke, ſo würde die Dampfbildung aufhören; es muß alſo die Sättigung der Glocke verhindert werden, und dazu dient die Schwefelſäure. Sie abſorbirt den Dampf in dem Maße, wie er ſich bildet, und unterhält auf dieſe Weiſe den luftleeren Raum; ſo wird die Verdunſtung des Waſſers ſehr beſchleunigt und den benachbarten Körpern keine Zeit gelaſſen, ihre Wärme abzugeben; es dauert auch gar nicht lange, ſo beginnt das in der Schale gebliebene Waſſer zu gefrieren.

Auch dieſe Methode hat man in England zur Eisfabrikation eingeführt. Anſtatt aber mit einer Luftpumpe einen leeren Raum herzuſtellen, füllen die HH. Taylor und Martineau ein großes Reſervoir mit warmem Dampf und kühlen die Wände deſſelben ab, wodurch die Verdichtung des Dampfes bewirkt und ein luftleerer Raum hergeſtellt wird. Das Reſervoir ſteht mit dem Gefäß in Verbindung, in welchem das Waſſer gefrieren ſoll, und der Dampf wird, wie im vorigen Experiment, durch Schwefelſäure abſorbirt.

Die Verdampfung einer Flüſſigkeit, die flüchtiger als Waſſer iſt, ruft eine weit intenſivere Kälte hervor. So iſt es z. B. ein Leichtes, Waſſer durch Verdampfung des Aethers gefrieren zu machen. Man gießt daſſelbe in eine Glasröhre, ſtellt dieſe, nachdem man ſie mit in Aether getränkter Baumwolle umgeben hat, in ein Gefäß, ſenkt in daſſelbe die Röhre eines Blaſebalges und ſetzt ihn in Bewegung. (Fig. 87.) Der Aether verdampft ſo ſchnell, daß das Waſſer in der Röhre zu Eis gefriert.

Erſetzt man das Waſſer durch Queckſilber, den Aether durch flüſſige ſchweflige Säure, ſo kann man das Queckſilber zum Gefrieren bringen und folglich die Temperatur bis 40° unter Null erniedrigen. In dieſer Form iſt jedoch das Ex-

periment unangenehm, weil die schweflige Säure einen ganz unerträglichen Geruch hat.

Fig. 87. Gefrieren des Wassers durch Verdampfung des Aethers.

Eine wichtige Anwendung dieser Thatsachen ist von Hrn. Carré zur Eisfabrikation gemacht worden. Sein Verfahren, welches hier beschrieben werden soll, läßt sich aber auch auf andere Fälle anwenden; man benutzt dasselbe z. B. dazu, durch Abkühlung Salzlösungen zum Krystallisiren zu bringen, besonders Meerwasser, welches, nachdem es das Kochsalz durch Abdampfung abgegeben hat, noch andere Salze aufgelöst enthält.

Der Carré'sche Apparat besteht im Wesentlichen aus zwei Metallbehältern, die durch eine Röhre verbunden einen voll-

ſtändig geſchloſſenen Raum darſtellen (Fig. 88). Der eine Behälter wird mit einer wäſſerigen Ammoniaklöſung gefüllt

Fig. 88. Carré's Apparat zur Eisfabrikation.

und erwärmt, während der andere in einer Kühltonne ſteht. Das Ammoniakgas entwickelt ſich aus der Löſung und verdichtet ſich im kalten Behälter, gerade wie in dem vorher beſchriebenen Experiment Faraday's. Wenn ſämmtliches Gas dicht geworden iſt, bleibt in dem erwärmten Behälter nur reines Waſſer zurück; man entfernt ihn vom Feuer und ſenkt ihn in kaltes Waſſer, während der andere Behälter mit dem flüſſigen Ammoniak der freien Luft ausgeſetzt wird. Dieſem Ammoniak entſtrömen nun Dämpfe, die ſich in den Waſſerbehälter begeben, wo ſie ſich auflöſen. Die außerordentliche Lösbarkeit des Ammoniaks in kaltem Waſſer verurſacht einen beſtändig leeren Raum im Apparate und in Folge deſſen eine ſehr intenſive Verdampfung des flüſſigen Ammoniaks. Der Behälter, welcher denſelben einſchließt, wird alſo ſtark abgekühlt und das Waſſer in einem in der Mitte dieſes Behälters befindlichen Cylinder dadurch nach

kurzer Zeit in Eis verwandelt. Figur 88 zeigt diesen Cylinder separirt von dem übrigen Theile des Apparats.

Eine zweite Anwendung ist das Ueberführen flüssiger Kohlensäure in den festen Zustand durch ihre eigene Verdunstung. Wie man Kohlensäure flüssig macht in Thiloriers Apparat (Fig. 83.), haben wir bereits gesehen. Die Flüssigkeit wird in dem Recipienten bei gewöhnlicher Temperatur unter einem Druck von 50 Atmosphären aufbewahrt. Um etwas davon herauszuholen, dreht man den Recipienten so, daß die Flüssigkeit in den Hahn tritt, den man dann vorsichtig über einem Gefäß öffnet. Während ein flüssiger Strahl mit großer Heftigkeit ausfährt, verdampft ein Theil davon an der Luft und erniedrigt die Temperatur bis zu 70° unter Null. Die im Gefäße aufgefangene Flüssigkeit behält diese Temperatur, indem sie fortfährt zu verdampfen und ein Theil davon sogar in festen Zustand übergeht.

Merkwürdiger noch wird diese Erscheinung, wenn man den Strahl der Kohlensäure frei in die Luft strömen läßt. Er kühlt sich dann so stark ab, daß ein Theil ganz fest wird und in weißen Flöckchen wie Schnee niederfällt. Man erhält so eine weiße Substanz, die pulverisirtem Eise ähnlich sieht. Es ist derselbe Stoff, wie das Gas, welches sich durch Verbrennen der Kohle in freier Luft entwickelt, und steht zu dem kohlensauren Gase in demselben Verhältnisse, wie das Eis zu dem Wasserdampf. Wenn man diese Art von Schnee in einem geschlossenen Gefäße erwärmte, so würde er schmelzen, die dadurch gewonnene Flüssigkeit käme ins Sieden und würde sich wieder in Gas verwandeln.

Van Marum war der Erste, der ein Gas flüssig machte; es war dies das Ammoniakgas. Seit 1823 hat Faraday eine große Anzahl anderer Gase in flüssigen und festen Zu-

ſtand übergeführt; und je mehr die Methoden ſich vervollkommnen, deſto kleiner wird die Zahl der Gaſe, welche der Verwandlung widerſtehen. Es giebt deren nur noch fünf: Sauerſtoff, Stickſtoff, Waſſerſtoff, Kohlenoxyd, Stickſtoffoxyd. Man nennt ſie permanente Gaſe. Die beiden erſteren bilden durch ihre Miſchung die atmoſphäriſche Luft; folglich kennen wir dieſe auch noch in keinem anderen als in gasartigem Zuſtande; aber alle Anzeichen ſprechen dafür, daß es einſt mit Hilfe von enormen Druckkräften und bis jetzt noch unbekannten Kältegraden gelingen wird, ſie ebenfalls in flüſſigen Zuſtand zu verſetzen.

Eine vierte Methode der Kälteerzeugung iſt auf das Schmelzen der feſten Körper gegründet. Wir wiſſen in der That, daß jede feſte Subſtanz, in flüſſigen Zuſtand übergehend, Wärme verbraucht. In Folge deſſen wird, ſobald dieſe Zuſtandsveränderung unter der Wirkung anderer Kräfte, als der Wärme eines Feuers ſtattfindet, ein Theil der fühlbaren Wärme der umgebenden Körper vernichtet und ihre Temperatur erniedrigt. Die Schmelzung kann durch die gegenſeitige Wirkung zwiſchen dem ſchmelzbaren Körper und gewiſſen Subſtanzen, mit denen man ihn miſcht, veranlaßt werden. So erhält man die Kältemiſchungen.

Die einfachſte wird aus geſtoßenem Eiſe und Kochſalz, beides zu gleichen Theilen, hergeſtellt. Die Temperatur ſinkt damit um etwa 20°. Wir ſind ſchon mehrmals der Anwendung dieſer künſtlichen Kälte begegnet.

Welche Kraft nun bewirkt die Schmelzung des Eiſes? Das Eis löſt ſich im Waſſer auf: zwiſchen den Molekülen dieſer beiden Subſtanzen muß alſo eine anziehende Wirkung beſtehen, welche die Löſung zu Stande bringt; unter ihrem Einfluß trennen ſich zuvörderſt die Eismoleküle von einander.

und diese Trennung ist eine geleistete mechanische Arbeit, welche die Vernichtung einer entsprechenden Quantität fühlbarer Wärme mit sich bringt. Diese Wärme wird zuerst der Mischung entzogen, dann dem Gefäße, der Luft und den benachbarten Körpern: die Temperatur derselben sinkt daher. Man sieht zuweilen auf der äußeren Oberfläche des Gefäßes sich einen Ansatz von Eis bilden; dieser rührt von dem Wasserdampf der umgebenden Luftschichten her, welcher sich in Folge der Abkühlung erst zu flüssigen Tröpfchen verdichtet und dann gefriert. Oft erscheint die Mischung auch dampfend wie heißes Wasser; dies ist der Wasserdampf der Luft, der sich zu einem leichten Nebel verdichtet. Dieser Nebel hat aber nicht denselben Ursprung wie der, welcher vom warmen Wasser aufsteigt, denn letzterer rührt von dem Wasser selbst her.

Wir haben bis jetzt nur die Trennung der Eismoleküle betrachtet. Aber spielen die des Salzes nicht eine ähnliche Rolle? Ein Salzkörnchen in ein Glas Wasser geworfen, verschwindet vollständig, d. h. es löst sich auf und zerstreut seine Moleküle durch den ganzen Inhalt des Glases. Ist dieses nicht auch eine Art Schmelzung, welche Wärme verbraucht? Wenn das der Fall ist, so müssen wir auch durch einfache Auflösung des Salzes in Wasser Kälte erhalten. In der That, stellen wir ein empfindliches Thermometer in Wasser und lösen darin Salz auf, so sehen wir die Temperatur der Mischung sinken. Es giebt übrigens feste Körper, welche sich leichter lösen als Kochsalz, und diese erregen eine ganz beträchtliche Kälte. Salpetersaurer Ammoniak, eine weiße Substanz, aus langen, faserigen Blättern bestehend, bewirkt durch seine Auflösung in Wasser eine Temperaturerniedrigung bis unter Null. Wenn wir also ein mit reinem Wasser ge-

ſtand übergeführt; und je mehr die Methoden ſich vervollkommnen, deſto kleiner wird die Zahl der Gaſe, welche der Verwandlung widerſtehen. Es giebt deren nur noch fünf: Sauerſtoff, Stickſtoff, Waſſerſtoff, Kohlenoxyd, Stickſtoffoxyd. Man nennt ſie permanente Gaſe. Die beiden erſteren bilden durch ihre Miſchung die atmoſphäriſche Luft; folglich kennen wir dieſe auch noch in keinem anderen als in gasartigem Zuſtande; aber alle Anzeichen ſprechen dafür, daß es einſt mit Hilfe von enormen Druckkräften und bis jetzt noch unbekannten Kältegraden gelingen wird, ſie ebenfalls in flüſſigen Zuſtand zu verſetzen.

Eine vierte Methode der Kälteerzeugung iſt auf das Schmelzen der feſten Körper gegründet. Wir wiſſen in der That, daß jede feſte Subſtanz, in flüſſigen Zuſtand übergehend, Wärme verbraucht. In Folge deſſen wird, ſobald dieſe Zuſtandsveränderung unter der Wirkung anderer Kräfte, als der Wärme eines Feuers ſtattfindet, ein Theil der fühlbaren Wärme der umgebenden Körper vernichtet und ihre Temperatur erniedrigt. Die Schmelzung kann durch die gegenſeitige Wirkung zwiſchen dem ſchmelzbaren Körper und gewiſſen Subſtanzen, mit denen man ihn miſcht, veranlaßt werden. So erhält man die Kältemiſchungen.

Die einfachſte wird aus geſtoßenem Eiſe und Kochſalz, beides zu gleichen Theilen, hergeſtellt. Die Temperatur ſinkt damit um etwa 20°. Wir ſind ſchon mehrmals der Anwendung dieſer künſtlichen Kälte begegnet.

Welche Kraft nun bewirkt die Schmelzung des Eiſes? Das Eis löſt ſich im Waſſer auf: zwiſchen den Molekülen dieſer beiden Subſtanzen muß alſo eine anziehende Wirkung beſtehen, welche die Löſung zu Stande bringt; unter ihrem Einfluß trennen ſich zuvörderſt die Eismoleküle von einander,

und diese Trennung ist eine geleistete mechanische Arbeit, welche die Vernichtung einer entsprechenden Quantität fühlbarer Wärme mit sich bringt. Diese Wärme wird zuerst der Mischung entzogen, dann dem Gefäße, der Luft und den benachbarten Körpern: die Temperatur derselben sinkt daher. Man sieht zuweilen auf der äußeren Oberfläche des Gefäßes sich einen Ansatz von Eis bilden; dieser rührt von dem Wasserdampf der umgebenden Luftschichten her, welcher sich in Folge der Abkühlung erst zu flüssigen Tröpfchen verdichtet und dann gefriert. Oft erscheint die Mischung auch dampfend wie heißes Wasser; dies ist der Wasserdampf der Luft, der sich zu einem leichten Nebel verdichtet. Dieser Nebel hat aber nicht denselben Ursprung wie der, welcher vom warmen Wasser aufsteigt, denn letzterer rührt von dem Wasser selbst her.

Wir haben bis jetzt nur die Trennung der Eismoleküle betrachtet. Aber spielen die des Salzes nicht eine ähnliche Rolle? Ein Salzkörnchen in ein Glas Wasser geworfen, verschwindet vollständig, d. h. es löst sich auf und zerstreut seine Moleküle durch den ganzen Inhalt des Glases. Ist dieses nicht auch eine Art Schmelzung, welche Wärme verbraucht? Wenn das der Fall ist, so müssen wir auch durch einfache Auflösung des Salzes in Wasser Kälte erhalten. In der That, stellen wir ein empfindliches Thermometer in Wasser und lösen darin Salz auf, so sehen wir die Temperatur der Mischung sinken. Es giebt übrigens feste Körper, welche sich leichter lösen als Kochsalz, und diese erregen eine ganz beträchtliche Kälte. Salpetersaurer Ammoniak, eine weiße Substanz, aus langen, faserigen Blättern bestehend, bewirkt durch seine Auflösung in Wasser eine Temperaturerniedrigung bis unter Null. Wenn wir also ein mit reinem Wasser ge-

füllte Gefäß in eine ſolche Miſchung ſtellen, ſo kann dieſes Waſſer zum Gefrieren gebracht werden. Auf dieſem Princip beruht die in Figur 89 dargeſtellte Eismaſchine für den Hausbedarf. In einem Metalleimer, welcher die Kältemiſchung aufnimmt, befinden ſich zwei koniſche Röhren, in welche die Flüſſigkeit gegoſſen wird, welche gefrieren ſoll, während die Kältemiſchung ſie von allen Seiten umgiebt. So erhält man einen Eiskegel, welcher ſich durch Umkehren des Gefäßes leicht davon loslöſt.

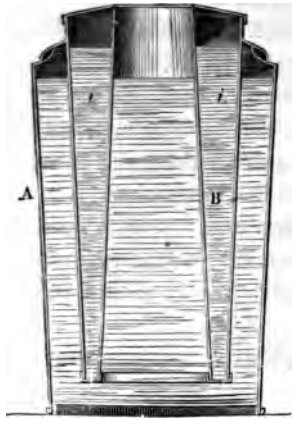


Fig. 89. Eismaſchine für den Hausbedarf.

Die wirkſamſte Kältemiſchung, die man bis jetzt kennt, wird durch Aether und gefrorne Kohlenſäure hergeſtellt; ſie erniedrigt die Temperatur bis zu 100° unter Null. Phyſiker und Chemiker benutzen dieſe Miſchung zur Flüſſigmachung und Erſtarrung mehrerer Subſtanzen, für die alle anderen Mittel unzureichend waren. Wie die ſchneeige Kohlenſäure in dem Apparat von Thilorier fabricirt wird, haben wir ſchon geſehen. Wenn man ſie auffangen will, ſo dirigirt man den Strahl aus dem Recipienten in eine Metallbüchſe, welche aus zwei halbkugelförmigen hohlen Theilen beſteht, indem man ſie mit den beiden Handhaben hält (Fig. 90). Das Gas gelangt in die Büchſe durch eine ſeitliche Oeffnung und begegnet einer kleinen Platte, die ſo geſtellt iſt, daß es die Runde in der Büchſe machen muß. Ein Theil bleibt in derſelben im Zuſtande

weißer Flocken zurück, das Uebrige entweicht durch die hohlen Handhaben. Iſt die Büchſe gefüllt, ſo öffnet man ſie, um den Schnee herauszunehmen.

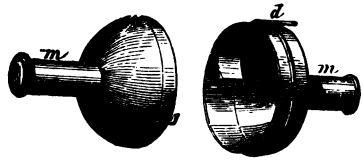


Fig. 90. Metallbüchſe zum Auffangen der ſchneeigen Kohlenſäure.

Mit der feſten Kohlenſäure kann man ſehr intereſſante Experimente machen. Wir haben ſchon von ihrem ſphäroidalen Zuſtand geſprochen und von dem Gefrieren des Queckſilbers in einer glühenden Schale, welches dadurch erreicht wird. Nachfolgend noch einige ihrer andern Eigenſchaften.

Auf eine glatte Oberfläche gelegt, flieht ſie die Hand, die ſich ihr nähert, und zwar, weil die Wärme der Hand Dampf entwickelt, und dieſer Dampf durch ſeine Expanſion den Schnee rückwärts treibt.

Man kann dieſen Schnee leicht mit der Hand berühren, ohne ihn zu fühlen, denn in Wirklichkeit findet keine vollſtändige Berührung ſtatt, weil ſich die Kohlenſäure im ſphäroidalen Zuſtande befindet. Ebenſo kann man auch ohne Gefahr ein Stückchen Kohlenſäure in den Mund nehmen; eine Dampfſchicht hüllt ſie augenblicklich ein und verhindert eine Berührung mit der Haut. Aber einathmen darf man dieſen Dampf ja nicht, der Athem muß während des Experiments eingehalten werden. Man kann die Flamme eines Lichtes alsdann durch leiſes Anblaſen verlöſchen; ſie bewegt ſich kaum und verſchwindet langſam, weil der Athem die zu

ihrer Unterhaltung erforderliche Luft vertrieben und durch kohlenſaures Gas erſetzt hat.

Wenn man feſte Kohlenſäure dreiſt anfaßt, ſo daß thatſächliche Berührung ſtattfindet, ſo *verbrennt* man ſich wie an glühendem Eiſen, und die Haut erſcheint geſchwärzt; dies beweiſt, daß die organiſchen Gewebe ebenſo durch übermäßige Kälte, wie durch Hitze eine gründliche **Zerſtörung** erleiden, und zwar iſt die Wirkung in beiden Fällen beinahe dieſelbe.

Folgende Experimente laſſen erkennen, welch' eine erhebliche Kälte durch eine Miſchung von feſter Kohlenſäure und Aether erzielt werden kann. Man legt auf den Fuß eines umgekehrten Weinglaſes ein Stückchen Säure und fügt etwas Aether hinzu. Augenblicklich ſpringt das Glas mit einem Knall, infolge der ungleichen Zuſammenziehung, welche ſeine Theile durch die plötzliche Abkühlung erleiden.

Wird dieſe Miſchung in Berührung mit Queckſilber gebracht, ſo gefriert dieſes ſofort, und bei gehöriger Menge gewinnt man in einigen Minuten mehrere Kilogramme erſtarrtes Queckſilber, das man hämmern, ſchneiden, überhaupt bearbeiten kann, nur muß man ſich hüten, es dabei ſtark zu berühren, weil man ſich ſonſt die Finger verbrennen würde. Man kann auch verſchiedene Formen mit flüſſigem Queckſilber füllen und mit dieſer Kältemiſchung umgeben, und ſo Büſten und Statuetten erhalten, die wie aus Silber gegoſſen ausſehen. Ihre Temperatur iſt ſo niedrig, daß ſie ziemlich lange im feſten Zuſtande verbleiben.

Hängt man ein Stück feſten Queckſilbers an einem Faden in Waſſer, ſo hat man das eigenthümliche Schauſpiel, dasſelbe in eine Unzahl von feinen Metallfäden auseinanderſchmelzen zu ſehen, um welche herum das Waſſer gefriert, ſo daß jeder Queckſilberfaden in einer Eisröhre fließt.

3. Löſung. — Kryſtalliſation.

Wir ſchließen dieſes Kapitel mit wenigen Bemerkungen über die Löſungen. Zahlreiche Beiſpiele haben uns gelehrt, daß die Trennung der Moleküle ein mechaniſcher Prozeß iſt, der Wärme verbraucht, und daß umgekehrt ihre Vereinigung Wärme hervorbringt. Die Trennung kann unter ſehr verſchiedenen Umſtänden ſtattfinden; im Allgemeinen nennt man ſie: Disgregation, und die Vereinigung: Aggregation. In der Auflöſung ſind die Beſtandtheile des feſten Körpers getrennt, aber man darf dieſe Disgregation nicht mit der Schmelzung verwechſeln, denn die Atome des feſten Körpers werden nicht allein von einander getrennt, ſondern ſie verbinden ſich auch mit den Atomen der löſenden Flüſſigkeit, und dieſer zweite Prozeß iſt dem erſteren entgegengeſetzt. Deshalb giebt es auch zahlreiche Beiſpiele von Auflöſung, wobei Wärme frei wird. Gewöhnlich wird einerſeits bei der Disgregation Wärme verbraucht, andererſeits bei der Verbindung mit der Löſeflüſſigkeit Wärme erzeugt, und nur die Differenz wird beobachtet. Iſt mehr Wärme verbraucht, als erzeugt, ſo fällt die Temperatur, im entgegengeſetzten Falle ſteigt ſie. Welches Reſultat eine gegebene Subſtanz mit einer gegebenen Flüſſigkeit liefert, kann nur die Beobachtung lehren; die Theorie läßt daſſelbe nicht vorausſehen. Zucker, der in Waſſer zergeht, bringt Kälte hervor; wenn wir alſo Zuckerwaſſer bereiten, ſo kühlen wir unſer Getränk. Wir ſchließen daraus übrigens, daß die Disgregationskälte des Zuckers ſeine Combinationswärme überwiegt.

Wenn umgekehrt eine aufgelöſte Subſtanz aus ihrer Löſung kryſtalliſirt, ſo iſt das eine Aggregation mit Wärmebefreiung, und letztere wird der Beobachtung zugänglich,

wenn die Trennung des Salzes von der Löſeflüſſigkeit weniger Wärme verbraucht, als durch die Kryſtalliſation erzeugt wird. Dies beweiſt folgender Verſuch.

Mit ſchwefelſaurem Natron bei 32° geſättigtes Waſſer kann ſich abkühlen, ohne Salz abzuſondern, wenn man jede Erſchütterung vermeidet. Wirft man aber einen kleinen Salzkryſtall hinein, ſo wird ſofort ein Theil des aufgelöſten Salzes wieder feſt. Seine Moleküle trennen ſich vom Waſſer, vereinigen ſich mit dem kleinen Kryſtall, und es ſchießen bald lange Säulen mit regelmäßigen, glänzenden Flächen an. Die Schönheit dieſer Kryſtalliſation frappirte den berühmten Chemiker Glauber ſo, daß er dieſes Salz (das Glauberſalz; sal mirabile d. h. Wunderſalz, nannte.

Wenn man ein Thermometer in die Löſung ſtellt, während ſie kryſtalliſirt, ſo zeigt daſſelbe ein Freiwerden von Wärme an; dieſe Wärme iſt das Aequivalent und das Maß der verbrauchten Molekulararbeit. Jede Wärmeeinheit repräſentirt eine Arbeit von 425 Kilogrammetern, oder um eine deutlichere Vorſtellung zu geben: der Zuſammenſtoß der kryſtalliſirenden Atome hat jedesmal eine Wärmeeinheit frei gemacht, wenn ihre Arbeit der gleich iſt, welche ein Gewicht von 425,000 Kilogrammen ausführt, indem es von der Höhe eines Millimeters zur Erde fällt. Indem wir als vergleichendes Beiſpiel ein ſehr großes Gewicht aus geringer Höhe fallend wählen, nähern wir uns ein wenig den Proportionen, welche zwiſchen der Größe der Molekularkräfte und der Entfernung, welche die Atome zu durchmeſſen haben, beſtehen

Den eben beſchriebenen Verſuch haben wir gewählt, weil er am beſten die frei werdende Wärme kennen lehrt. Gewöhnlich ſetzen die Löſungen durch Verdunſtung oder durch

ntität der in einem Jahre aufgelöſten Subſtanzen gleich Schicht von 8 Tauſendſtel eines Millimeters, die über anze Oberfläche der Erde ausgebreitet wäre. Dieſe auf- de Wirkung veranlaßt ein Verſchwinden von Wärme, lerdings zu gering iſt, um bemerkenswerthe Phänomen izuführen, die aber dennoch bei dem Studium der Erd- berückſichtigt werden muß.

Zehntes Kapitel.

Die Wärme auf der Erde.

1. Gleichgewicht der Wärme auf der Erdoberfläche. — Geſetz über die Erhaltung der Kraft.

Die Erde beſteht aus einem glühenden Kern, von einer Kruſte umgeben, über die ſich Feſtländer, Meere, und die Atmoſphäre erſtrecken. Wir haben allen Grund zu glauben, daß der Kern flüſſig iſt und daß die darüber befindliche, feſte Schale eine verhältnißmäßig geringe Dicke beſitzt. Man kann ſich von dem Verhältniß dieſer beiden Theile der Erde einen Begriff machen, wenn man ſich ein Blatt Papier um eine Kugel von 20 Centimeter Durchmeſſer gewickelt denkt. Im erſten Kapitel haben wir erfahren, daß dieſe feſte Kruſte in einer beſtimmten Tiefe eine Schicht enthält, in der die Temperatur zu allen Jahreszeiten dieſelbe bleibt; oberhalb dieſer Schicht iſt die Temperatur verſchiedenen, regelmäßigen oder zufälligen Veränderungen unterworfen; unterhalb nimmt ſie mit der Tiefe zu, ungefähr um einen Grad auf 30 Meter, wie zahlreiche Beobachtungen gezeigt haben.

Die Exiſtenz der unveränderlichen Schicht beweiſt einen Zuſtand des Gleichgewichts, eine Ausgleichung zwiſchen der

1 der Erde verlorenen und gewonnenen Wärme, oder zum

wenigsten eine ungemeine Langsamkeit der Abkühlung der Centralmasse, so daß wir die Temperatur derselben als constant betrachten dürfen, wenn es sich blos um den Zeitraum von einigen Jahrhunderten handelt. In diesem Falle befinden wir uns, wenn wir die Gesetze der Wärmevertheilung oberhalb der unveränderlichen Schicht zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten aufsuchen; eine Frage von höchstem Interesse, weil die Bedingungen des Daseins aller lebenden Wesen von dieser Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche abhängen.

Die Atmosphäre, das Weltmeer, die Festländer sind zwei entgegengesetzten Wirkungen unterworfen, die sich das Gleichgewicht halten: der erwärmenden Wirkung der Sonne und der abkühlenden der Himmelsräume. Die Sonnenstrahlen, die auf den Sand der Wüste fallen, werden theils zurückgeworfen, theils absorbirt. Die absorbirte Wärme erhöht die Temperatur des Sandes; sobald aber die Sonne zu scheinen aufhört, strahlt der Sand seinerseits Wärme gegen die Himmelsräume aus, er giebt die erhaltene Wärme zurück und die Ausgleichung wird auf diese Weise hergestellt.

Gewöhnlich aber tritt eine große Anzahl vermittelnder Vorgänge zwischen die Ankunft des Sonnenstrahls auf der Erde und die Rückkehr des äquivalenten Erdstrahls in den Himmelsraum. Diese Vorgänge aber berühren sowol die unorganischen Stoffe, als auch die organisirten Wesen, und so geschieht es, daß die Sonne alle Bewegung und alles Leben auf der Erde unterhält. Ist sie fern, so sind die Naturkräfte im Gleichgewicht; es tritt Ruhe ein und Schlaf; sobald sie wieder erscheint, ist das Gleichgewicht aufgehoben; eine neue Kraft regt alle anderen an und eine abermalige Ausgleichung wird nöthig. Die Abwechslung von Tag

und Nacht ist eine immerwährende Ursache der Thätigkeit auf Erden.

In allen Umwälzungen des Stoffes herrscht ein großes Gesetz: die Erhaltung der Kraft. Die Kraft oder Energie der Bewegung wird von einem Körper auf den anderen unverändert übertragen und ihre Wirkungen, in der Form verschieden, sind untereinander äquivalent. Wir kennen nur diese Wirkungen; was die Ursache anbetrifft, so sind wir von ihrer Existenz überzeugt, ohne daß es uns möglich wäre, ihre besondere Natur anzugeben. Wir sprechen von Kräften, aber wir sehen sie nicht; sie sind die mysteriösen Ursachen der sichtbaren Erscheinungen, sie verdanken ihren Ursprung der göttlichen Allmacht, und wir müssen uns damit begnügen, durch aufmerksame Beobachtung das Band zu entdecken, das sie untereinander vereint, ohne ihr eignes, innerstes Wesen erkennen zu wollen.

Verfolgen wir die mannigfaltigen Vorgänge, welche sich unter dem Einfluß der Sonnenwärme an dem Stoff vollziehen.

Ein einfacher Wassertropfen soll uns als Beispiel dienen. Im Zustand von Dampf steigt er vom Ocean auf, durchmißt die atmosphärischen Regionen und fällt als Schnee auf die Gletscher hoher Gebirge nieder; darauf fließt er als Wasser wieder dem Meere zu und begegnet auf dieser letzten Reise Pflanzen und Thieren, welche ihn erst die wunderbarsten Verwandlungen erleiden lassen, ehe sie ihn dem Meere zurückerstatten.

Geben wir unserem Wassertropfen das Gewicht von 9 Grammen.

Durch die Sonne erwärmt, entsteigt er dem Meere als Dampf, und die Wärme, die er dazu verbraucht, repräsentirt

eine Kraft, welche fähig wäre, ein Kilogramm mehr als 2300 Meter hoch zu heben. Der Wasserdampf steigt nun in die Atmosphäre, wo er zur Entstehung der Winde und Meteore beiträgt. Da er mehr als trockne Luft im Stande ist, die Wärmestrahlen zu absorbiren und zurückzustrahlen, so mäßigt er wie ein Schirm die erwärmende Wirkung der Sonne und die abkühlende der Himmelsräume; seinem Einfluß verdankt es die Erde, daß ihr die Atmosphäre zum schützenden Kleide wird. Während seines Aufenthaltes in der Luft wird unser Wassertropfen in Dampfform abwechselnd erwärmt und abgekühlt, so daß er der Wärme als ein Medium dient, und eine vollständige Ausgleichung der von ihm absorbirten und zurückgegebenen Wärme stattfindet. Höher steigend verdichtet er sich in eine Wolke, und dabei wird Wärme frei gemacht. Nehmen wir an, daß diese Verdichtung bei derselben Temperatur vorgeht, wie die anfängliche Verdampfung, so wird die jetzt befreite Wärme genau soviel betragen, als die bei der Verdampfung verbrauchte; die Verdichtung der 9 Gramm Wasserdampf kommt also dem Falle eines Kilogramms aus der Höhe von 2300 Meter gleich. Wir wissen, daß ein solcher Fall eine gewisse Quantität lebendiger Kraft entwickelt, welche im Stande ist, mechanische Wirkungen hervorzubringen. Dieselben Wirkungen könnte man mit der durch die Condensation des Wasserdampfes freigewordenen Wärme erreichen. Das Wasser hat also bei seiner Wanderung aus dem Oceane bis in die Wolken einfach die Kraft, welche es von der Sonne empfing, auf die Atmosphäre übertragen. Diese Kraft wird durch Strahlung den unzähligen Körpern, welche die Himmelsräume erfüllen, mitgetheilt.

Auf den hohen Gebirgen verdichtet sich ein großer Theil des atmosphärischen Wasserdampfes. Die Ausstrahlung ist

bei der Reinheit und Dünne der über ihnen befindlichen Luft sehr bedeutend, sie kühlen daher während der Nacht die ihnen zunächst gelegenen Luftschichten stark ab, und Wolken häufen sich auf ihren Gipfeln an. Diese Wolken kühlen sich ferner noch durch ihre eigene Wärmestrahlung ab und lösen sich in Schneeflocken auf. Die schneeigen Gipfel, die sich über den ewigen Eisflächen erheben, haben die Verdichtung des an der Meeresoberfläche gebildeten Dampfes in einem gewaltigen Maßstabe ins Werk gesetzt. Der Ocean bildet mit den Gebirgen einen wirklichen Destillirapparat, in welchem die Sonne die Rolle der Wärmequelle übernimmt. Alles Eis unserer Gletscher rührt von dem Wasserdampf des Weltmeeres her, und die Wärmemenge, welche die Sonne zu dieser Dampfbildung liefert, würde hinreichen, das fünffache Gewicht Eisen zu schmelzen. Wir sehen ferner, daß eine gleiche Wärmemenge durch die Wolkenbildung wieder freigemacht wird. Jetzt wollen wir die Wärmeerscheinungen betrachten, welche die Umwandlung der Wolken in Schnee begleiten.

Wenn 9 Gramm Wasser zu Eis werden, so entwickeln sie eine Wärme, die dem Falle eines Kilogrammes von 300 Meter Höhe gleichkommt, und diese Kraft wird durch Strahlung vertheilt. Aber die Gletscher schmelzen allmählich, und die Schmelzung von 9 Grammen Eis stellt genau den dem vorigen entgegengesetzten Prozeß vor. Jeder Gletscher muß genau so viel Wasser durch Schmelzung verlieren, als er durch Verdichtung des atmosphärischen Wasserdampfes gewinnt, um immer die gleiche Ausdehnung zu behalten; dann findet eine vollständige Ausgleichung zwischen der freigemachten und verbrauchten Wärme statt. Hier rührt die Kraft, welche die Schmelzung des Gletschers bewirkt, von der Sonne her, theils direct, theils durch Vermittlung des Erdbodens, und

erſcheint dann einfach wieder von der Erde den Himmelsräumen zurückerſtattet.

So haben wir denn unſern Waſſertropfen wieder in flüſſigem Zuſtande, aber hoch über dem Ocean. Nehmen wir ſeine Höhe zu 4000 Meter an. Zu den eben beſchriebenen Wirkungen müſſen wir die mechaniſche Arbeit hinzufügen, die durch den Transport von 9 Grammen Waſſer zu einer ſolchen Höhe ausgeführt iſt; ſie würde genügen, ein Kilogramm auf eine Höhe von 36 Meter zu heben, und ſie rührt ebenfalls von der Wirkung der Sonne her. Was dieſe Arbeit ausgleicht, iſt die Rückkehr des Waſſertropfens vom Gletſcher ins Meer. Die Schwere verſammelt die Waſſertropfen am Fuße des Gletſchers, bildet daraus Ströme und führt ſie ins Meer. Während die 9 Gramme Waſſer aus einer 4000 Meter hoch gelegenen Quelle niederſteigen, entwickeln ſie eine der vorigen gleiche Kraft.

Durch die einfache Reibung an den Körpern, über welche es fließt, kann dieſes Waſſer die Wärme, die es urſprünglich von der Sonne entlehnt, vollſtändig zurückerſtatten. Die Formen aber, unter denen die Kraft wieder auftreten kann, ſind unendlich mannigfaltig. Der Fluß bewäſſert fruchtbare Ebenen und macht überall, wo das Terrain nicht abſchüſſig iſt, unzählige Umwege, als wollte die Erde ſein Waſſer ſo lange als möglich zurückhalten, um damit die Weſen zu nähren, die auf ihr leben. Die Vegetabilien brauchen verſchiedene Elemente zur Ausbildung ihrer Organe; das Waſſer iſt ihnen für die Circulation und Combination dieſer Elemente unentbehrlich, außerdem brauchen ſie reinen Waſſerſtoff.

Um in ihren Geweben nur 1 Gramm dieſer Subſtanz zu fixiren, muß die Pflanze zuvor 9 Gramm Waſſer zerſetzen; die Sonne hat das Amt, die dazu nöthige Kraft zu liefern,

welche 14,000 Kilogrammeter beträgt. Die Pflanze dient ſpäter einem Thiere zur Nahrung, und dann erſcheint in dieſem wieder die urſprünglich verbrauchte Kraft. Jedes Gramm Waſſerſtoff, das in dem Blute des Thieres den Act des Athmens erleidet, macht, indem es ſich wieder mit dem Sauerſtoff der Luft verbindet, um 9 Gramm Waſſer zu bilden, eine Wärmemenge frei, die fähig wäre 1 Kilogramm zu der Höhe von 14 Kilometern aufzuheben. Dies iſt alſo das bewunderungswürdige Gleichgewicht, das in der ganzen Natur herrſcht und deſſen erhabene Einfachheit uns die unendliche Weisheit eines allmächtigen Schöpfers offenbart.

Wir ſehen, daß durch den Kreislauf der 9 Gramm Waſſer durch Ocean, Atmoſphäre, Gletſcher, Fluß, Pflanze und Thier eine Arbeit von 16,636 Kilogrammetern geleiſtet wird, und eine eben ſo große Arbeit verbraucht; und da 425 Kilogrammeter einer Wärmeeinheit gleichkommen, ſo ſind dies 39 Wärmeeinheiten. Alle dieſe Wärme-wurde von der Sonne geliefert und ſchließlich durch Ausſtrahlung der Erde den Himmelsräumen wiedererſtattet. Auf dieſe Weiſe, ſagt Tyndall, erzeugt der Sonnenſtrahl zwiſchen ſeiner Ankunft und ſeinem Abgange die vielfältigen Kräfte unſeres Erdballs. Sie ſind nur verſchiedene Formen der Sonnenkraft, welche dieſe auf ihrem Wege von der Quelle ins Unendliche übergehend angenommen hat.*)

Oft liegt ein bedeutender Zeitraum zwiſchen dem Augenblicke, wo die Sonnenkraft verbraucht wurde, und dem, in welchem eine äquivalente Kraft zur Thätigkeit kommt, ſo daß dieſe Kraft in gewiſſen Körpern aufgeſpeichert erſcheint. Unſere Steinkohlen zum Beiſpiel ſind Ueberreſte gewaltiger

*) Die Wärme, von John Tyndall. Zwölfte Vorleſung.

Wälder, die lange vor Erſchaffung der erſten Menſchen auf Erden geſtanden. Durch geologiſche Umwälzungen unter das Waſſer gebracht, haben ſie eine langſame Zerſtörung erlitten, wobei ihr Kohlenſtoff frei wurde. Jedes Kilogramm Steinkohle rührt von einem Quantum Kohlenſäure her, welches die Pflanzen dieſer Wälder unter dem Einfluß der Sonne zerſetzt haben, und dieſe Zerſetzung hat eine Kraft erfordert, die im Stande wäre 1 Kilogramm zu der Höhe von 3400 Kilometern zu erheben. Und wenn wir heutzutage die Kohlen verbrennen, ſo finden wir dieſe Kraft wieder; ſie war unverſehrt darin aufbewahrt, und wir benutzen jetzt noch die Wärme, welche die Sonne vor Millionen von Jahren der Erde zugeſandt. Wir nutzen dieſe alte Kraft vollſtändig aus, wenn wir uns durch die Feuerung nur Wärme verſchaffen wollen; ſobald ſie aber zur Ausführung einer mechaniſchen Arbeit verwandt werden ſoll, ſo wiſſen wir, daß es bei unſeren Maſchinen nicht möglich iſt, das Freiwerden einer beträchtlichen Menge fühlbarer Wärme zu vermeiden, und alle durch die Verbrennung erzeugte Wärme in Arbeit zu verwandeln. Mit einem unter dem Dampfkeſſel verbrannten Kilogramm Kohlen können wir das Gewicht eines Kilogrammes etwa zu der Höhe von 135 Kilometern aufheben: der größte Theil der Kraft hat ſich in der Form von Wärme entwickelt. In allen Fällen wird das große Princip der Erhaltung der Kraft beſtätigt.

Und dieſes Princip iſt es, auf dem die Wechſelwirkung der Naturkräfte beruht. Die dem Stoffe mitgetheilte Kraft kann ſich auch noch in anderer Weiſe offenbaren, als unter der Form von Wärme oder mechaniſcher Arbeit; ſie kann z. B. als Elektricität auftreten. Wir haben uns aber nur mit ſolchen Erſcheinungen beſchäftigt, wo Kräfte dieſer Art

aus dem Spiele bleiben. Man muß die Naturkräfte vereinzelt betrachten, um ihre Gesetze zu erforschen; später kann man dann versuchen, die Resultate in eine einzige Formel zu bringen und damit eine Syntheſe zu begründen, welche die ganze Naturwiſſenſchaft in ſich faßt.

2. Vertheilung der Temperaturen auf der Erdoberfläche. Klimata. — Bedeutung des atmoſphäriſchen Waſſerdampfes.

Nachdem wir im Allgemeinen geſehen haben, was man unter Gleichgewicht der Wärme auf der Erdoberfläche zu verſtehen hat, wollen wir uns jetzt noch ſpeciell mit den lokalen Temperaturen beſchäftigen. Wenn an jedem Orte der Erde zu allen Zeiten vollſtändige Ausgleichung zwiſchen verlorener und gewonnener Wärme ſtattfände, ſo wäre die Temperatur überall conſtant. Hunderte von Urſachen aber ſetzen ſich dieſer Gleichmäßigkeit entgegen, und die Temperatur wechſelt periodiſch nach gewiſſen Geſetzen, ſo zwar, daß ſtets die Kraft erhalten wird. In den lebenden Weſen gehen zahlreiche Erſcheinungen vor, die die Mitwirkung der Wärme erfordern, und zwar in beſtimmter Proportion und während einer begrenzten Zeit. Die Verwandlungen des Stoffes, der ihre Organe bildet, dürfen weder zu langſam, noch zu ſchnell vor ſich gehen, woraus ſich gewiſſe Temperaturgrenzen ergeben, die kein lebendes Weſen überſchreiten darf, ohne dabei zu Grunde zu gehen. Der Menſch kann Temperaturſchwankungen von 100 Graden ertragen; er kann noch bei 56 Grad unter Null leben (wie Kapitän Black auf ſeiner Reiſe durch Nordamerika zur Aufſuchung des Kapitäns Roß bewieſen hat) und bei 47 Grad über Null, die höchſte Temperatur, die man zu Esne in Aegypten beobachtet hat. Der größte Theil der Thiere

und Pflanzen jedoch sind auf viel engere Temperaturgrenzen angewiesen.

Das Studium der Temperatur auf der Erdoberfläche und die Aufsuchung ihrer Gesetze ist die Aufgabe der Meteorologie. Wir müssen uns hier darauf beschränken, die hauptsächlichsten Ursachen der regelmäßigen Temperaturveränderungen in der Luft anzugeben.

Beobachten wir zunächst die Vorgänge dieser Art an einem und demselben Ort. Die aufgehende Sonne sendet ihre Strahlen in schräger Richtung durch die Luft auf den Erdboden und erwärmt beide. Der Boden absorbirt weit mehr Wärme als die Luft und erwärmt nun seinerseits die ihm zunächst befindlichen Luftschichten, durch Strahlung, Leitung und Strömung. Auf der andern Seite üben die Himmelsräume ihre abkühlende Wirkung auf Luft und Erdboden aus, und diese ist desto intensiver, je wärmer die Erde ist. Bei Beginn des Tages ist sie nur mäßig und wird von der erwärmenden Wirkung der Sonne bedeutend überwogen. In dem Maße als die Sonne am Horizonte aufsteigt, verlieren die Strahlen ihre schräge Richtung und werden heißer; die Temperatur nimmt jetzt beständig zu. Nachmittags, wenn die Sonne wieder sinkt und ihre Strahlen kälter werden, tritt ein Moment ein, wo die zugeführte und die durch Strahlung wieder abgegebene Wärme gleich sind. Alsdann hat der Tag sein Temperaturmaximum erreicht, und von diesem Augenblick an nimmt die abkühlende Wirkung langsamer ab, als die Erwärmung; die Temperatur sinkt trotz der Anwesenheit der Sonne bis zum Abend, und dann noch stärker die ganze Nacht hindurch. Das Maximum erreicht sie kurz vor Sonnenaufgang.

Will man die Temperatur der Luft beobachten, so muß

man dazu ganz beſondere Vorſichtsmaßregeln nehmen, das Thermometer nach Norden im Schatten unterbringen, und zwar ſo, daß es gegen die Wärmereflexion der Mauern geſchützt iſt; die Luft muß frei darum circuliren können. Ehe man eine Beobachtung macht, dreht man den Arm mit dem Thermometer erſt einige Augenblicke in der Luft herum, um die Wirkungen der Wärmeſtrahlung aufzuheben. Hat man während eines Tages von Stunde zu Stunde die Temperatur notirt, ſo berechnet man die Durchſchnittstemperatur dieſes Tages, indem man die Summen der beobachteten Wärmegrade durch die Anzahl der Beobachtungen dividirt. Ungefähr dieſelbe Zahl erhält man, wenn man das Mittel der Maximum- und der Minimumtemperatur des Tages nimmt. So kann man vierundzwanzig Beobachtungen durch zwei erſetzen, die man mit Hilfe beſonderer Inſtrumente, der Maximal- und Minimalthermometer, nur einmal des Tages macht.

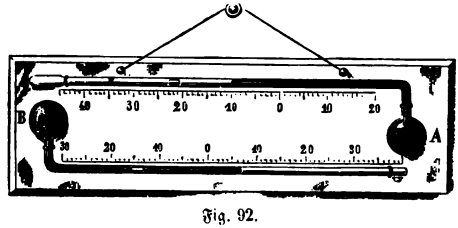


Fig. 92.

Der einfachſte Apparat dieſer Art wird von zwei horizontalen, auf derſelben Platte befeſtigten Röhren gebildet. (Fig. 92.) Die eine, mit Queckſilber gefüllt, zeigt das Maximum, die andere, mit Alkohol gefüllte, das Minimum an. In der Erſteren ſchiebt die Queckſilberſäule beim Steigen der Temperatur einen Eiſenſtift vor ſich her, der an derſelben Stelle liegen bleibt, wenn die Temperatur wieder fällt. Die Röhre

des zweiten Thermometers enthält einen Stift aus Email, den die Alkoholsäule bei ihrem Zusammenziehen durch Adhäsion mit sich führt, während sie ihn unberührt läßt, wenn sie sich ausdehnt. Die Verschiedenheit dieser beiden Wirkungen rührt daher, daß das Quecksilber, da es weder Eisen noch Glas netzt, bei seiner Ausdehnung nicht um den kleinen Cylinder herum kann und ihn deshalb vor sich her treibt, während der Alkohol, da er Email und Glas netzt, seinen Stift von allen Seiten umgiebt und darüber hinfließt; zieht er sich zurück, so kann der Stift (der Capillar-Adhäsion wegen) nicht über die Oberfläche der Flüssigkeit hinaus und wird mitgeschleppt. Vor dem Gebrauch muß man die rechte Seite der Platte etwas neigen, damit die beiden Stifte bis an die äußersten Enden der beiden Thermometersäulen gleiten. Dann bringt man die Platte wieder in horizontale Lage und notirt vierundzwanzig Stunden darauf den Stand der beiden Stifte, bringt dieselben wieder an ihren ursprünglichen Platz, u. s. f.

Die täglichen Durchschnittstemperaturen ändern sich mit der Jahreszeit. Von der Winterwende an nimmt der Sonne Verbleiben über dem Horizonte mit jedem Tage bis zur Sonnenwende zu, während sie bei ihrem täglichen Umlauf sich immer höher erhebt. So nimmt auch ihre Wirkung zu, und die Erde erwärmt sich am Tage stärker, als sie sich in der Nacht abkühlt. Um die Sommerwende hat die Wirkung der Sonne ihr Maximum erreicht, wird aber noch nicht von der abkühlenden Wirkung der Himmelsräume ausgeglichen. Erst nach einiger Zeit, wenn die erwärmende Wirkung an Kraft verloren hat, findet diese Ausgleichung statt, und in diesem Augenblicke hat die Tagestemperatur ihr Maximum erreicht, und von da ab bis zur Winterwende kühlt die Erde sich in

der Nacht mehr ab, als sie sich am Tage erwärmt, und die Temperatur sinkt nach und nach.

Da eine Menge lokaler und zufälliger Ursachen zu der eben erwähnten hinzutreten um die Schwankungen der täglichen Temperaturmittel noch zu vergrößern, so berechnet man der Sicherheit wegen die monatlichen Temperaturmittel mehrerer Jahre, und zwar auf folgende Weise: man dividirt mit der Zahl der Tage jedes Monats die Summe seiner täglichen Durchschnittstemperaturen, wodurch man das Temperaturmittel dieses Monats erhält, und nimmt darauf das Mittel aus den Temperaturmitteln desselben Monats für eine Reihe von Jahren. Nachfolgend die nach sechzehnjährigen Beobachtungen von Bouvard für Paris berechneten Monatsmittel.

Januar,	Februar,	März,	April,	Mai,	Juni,
$2^0,0$	$4^0,0$	$7^0,0$	$10^0,7$	$14^0,0$	$17^0,0$
Juli,	August,	September,	October,	November,	December.
$18^0,7$	$18^0,2$	$15^0,8$	$11^0,5$	$7^0,0$	$3^0,9$.

Man sieht, daß das Maximum im Juli, also nach der Sommerwende auftritt. Dividirt man die Summe der monatlichen Mittel durch 12, so erhält man die mittlere Temperatur von Paris, nämlich $10^0,8$, nahezu diejenige des Monats April.

Das Jahresmittel allein genügt noch nicht, die Sonnenwirkung an einem gegebenen Orte zu beweisen. Die Extreme der Temperatur üben den größten Einfluß auf die Thiere und Pflanzen aus; damit die Pflanzen nicht erfrieren und die Früchte reifen können, darf die Temperatur nicht zu niedrig und nicht zu hoch sein. Aber auch bei dieser Schätzung muß man wieder eine große Menge von Beobachtungen in Betracht ziehen, um den Einfluß zufälliger Ursachen zu

vermeiden; um also das Klima eines Ortes zu bestimmen, muß man die Durchschnittstemperatur des heißesten Monats mit der des kältesten vergleichen. Unsere Tabelle giebt 18°,7 und 2°,0 für Paris an. Der Unterschied beträgt 16°,7. Diese Zahl mißt das Klima von Paris. Dasselbe kann indessen variiren, denn die absoluten Temperaturen können zufälligerweise auch einmal 38 Grad über und 23 Grad unter Null betragen. In diesem Falle giebt es dann ausnahmsweise kalte Winter und heiße Sommer, die bei dem gegenwärtigen Stand der Meteorologie nicht vorauszusehen sind.

Suchen wir jetzt nach den Ursachen, die ihren Einfluß auf Durchschnittstemperatur und Klima der verschiedenen Gegenden der Erde ausüben.

Vom Aequator nach den Polen zu fallen die Sonnenstrahlen immer schräger auf die Oberfläche der Erdkugel. Folglich wird ihre Wirkung auch stufenweise schwächer, und die Durchschnittstemperatur immer niedriger. Gehen wir bis zu den Polargegenden, wo die atmosphärischen Wasserdämpfe sich unaufhörlich zu Schnee verdichten und die Oberfläche der Meere mit Eis bedeckt ist. Gewaltige Eisbänke wechseln jedes Jahr ihren Platz und halten die Seefahrer auf. Wir haben den berühmten Reisenden Kane auf seiner Expedition nach dem Nordpole über diese Schwierigkeiten siegen sehen, aber trotz der Bemühungen von Cook, Weddel, Dumont d'Urville, James Roß entbehren wir genauer Angaben über den Südpol, wo wahrscheinlich ebenfalls ein von Eisbergen umgebenes Meer zu finden wäre.

Die Gestalt der Festländer und die Meeresströmungen bringen einen großen Unterschied in der Vertheilung der Wärme auf den beiden Hemisphären mit sich. Während die

breiten Continente der nördlichen Halbkugel ſich ſehr nahe bis zum Pole erſtrecken, laufen in der ſüdlichen Halbkugel Afrika und Amerika in langen Spitzen aus und bieten eine bedeutend kleinere Oberfläche als die Meere. Die Südſpitze Amerikas iſt nicht weiter vom Aequator entfernt als Dänemark. Das Meer reflectirt aber an ſeiner Oberfläche mehr Sonnenſtrahlen als das Feſtland, folglich muß die von der ſüdlichen Halbkugel abſorbirte Wärmemenge geringer ſein, als auf der nördlichen Halbkugel; ſo hat denn auch die Südſpitze Amerikas eine niedrigere Durchſchnittstemperatur als Dänemark.

Die Wirkung der Meere beſteht hauptſächlich in der Milderung des Klimas. Die Waſſerdämpfe, die ſich fortwährend unter die atmoſphäriſche Luft miſchen, breiten ſich wie ein ſchützendes Kleid über den Erdboden und bewahren ihn vor zu ſtarker Erwärmung und Abkühlung. Außerdem vertheilen die Meeresſtrömungen die Wärme, welche der ganze Ocean von der Sonne erhält an den Küſten. Deshalb findet man das mildeſte Klima auf Inſeln; hier beträgt der Unterſchied zwiſchen der Durchſchnittstemperatur des heißeſten und des kälteſten Monats nur ein paar Grade, und mäßig warme Sommer wechſeln mit milden Wintern. Ein ſolches Klima nennt man ein conſtantes; Südamerika erfreut ſich deſſelben, und in Folge deſſen auch der herrlichſten Vegetation, die hier viel weiter entfernt vom Aequator gedeiht als in der nördlichen Halbkugel. Farrnkräuter erheben ſich zu der Größe von Bäumen, Orchideen in mannigfaltigen Formen, Vanille und andere Pflanzen wachſen hier wild, die in Frankreich, das dieſelbe Durchſchnittstemperatur beſitzt, höchſtens als Zierde der Gewächshäuſer dienen.

In England finden wir noch ein ſehr frappantes Beiſpiel

des Einfluſſes der Feuchtigkeit auf Klima und Durchſchnittstemperatur. In London beträgt dieſe Temperatur gegen 10 Grad; in Irkutzk, der Hauptſtadt Sibiriens, die faſt in der gleichen Entfernung vom Aequator liegt, einen halben Grad unter Null. In London iſt die Durchſchnittstemperatur des kälteſten Monats 3 Grad, des heißeſten 17°, 8. In Irkutzk betragen dieſe Temperaturen 19°, 5 unter und 17°, 5 über Null. Der Unterſchied der Extreme beträgt alſo für London 14°, 8, für Irkutzk 37 Grad; man darf daher auch das Klima von Irkutzk als den Typus des exceſſiven Klimas betrachten.

Verſuchen wir uns dieſe enorme Differenz zwiſchen zwei Orten zu erklären, die nach ihrer geographiſchen Breite die gleiche Wärmequantität erhalten müßten.

Den Einfluß des Golfſtromes auf das Klima Englands haben wir ſchon früher erwähnt. Dieſe gewaltige Meeresſtrömung führt den Küſten eine Menge, dem Golf von Mexiko und den Aequatorregionen entlehnter Wärme zu. In derſelben Richtung wandern große Quantitäten Waſſerdampf, die von der Verdunſtung des Oceans herrührend durch die Strömungen der Atmoſphäre nach England getragen werden, wo ſie ſich verdichtend, ebenſo viel Wärme frei machen, als ſie zu ihrer Entſtehung in der heißen Zone verbraucht haben. Es gleicht dieſer Dampf einem luftigen Boten, der die Wärme an der Quelle ſchöpft und in die Ferne transportirt. In London weht neun Monate hindurch ein Südweſtwind, und jeder Regen, den er bringt, iſt von einer wohlthuenden Erwärmung begleitet. Dies iſt der Grund der durchſchnittlich ſo milden Temperatur Englands; übermäßig ſtarker Froſt und große Hitze werden durch die feuchte Atmoſphäre verhindert; im Sommer mäßigt ſie die

Gluth der Sonne durch Absorption ihrer Strahlen; im Winter conservirt sie die Erdwärme, indem sie die Strahlung gegen die Himmelsräume hindert. Nach Tyndalls Experimenten absorbirt der in der Atmosphäre enthaltene Wasserdampf 72 Mal so viel Wärmestrahlen als die trockene Luft.

Ueber England ist also ein wirkliches Schirmdach ausgebreitet, das seinen Boden beschützt; und wenn gewisse Pflanzen, wie der Weinstock zum Beispiel, dort aus Mangel an Wärme nicht gedeihen, so finden sich dafür wieder andere, welche die continentale Winterkälte nicht ertragen könnten. In dem östlichen Theile Irlands wächst die Myrthe, nach Humboldt's Versicherung ebenso kräftig als in Portugal; es kommt im Winter kaum zum Frieren, aber die Sommerwärme ist wiederum nicht im Stande, die Trauben zu reifen. In der Gegend von Devonshire läßt man die Camelien den Winter über ohne Schutz in freier Erde stehen und Orangenbäume an Spalieren gezogen tragen Früchte.

Welch ein anderes Bild bietet dagegen Irkutzk! Da es weit vom Meere entfernt liegt, besitzt die Luft nur geringe Feuchtigkeit, die den Boden wenig schützen kann. Die Winde führen in diese Gegenden nur trockne Luftmassen, von den Polarregionen zu einer eisigen Kälte abgekühlt, oder erwärmt durch die Wüsten Centralasiens. Im Winter friert der nicht weit von Irkutzk gelegene Baikalsee ganz zu, so daß man ihn vom Januar bis April zu Schlitten passiren kann. Graf Henry Russel giebt interessante Details über diese Gegend, die er im Monat Januar bereist hat. Der Baikalsee, der fünfzig Meilen lang und acht Meilen breit ist, gleicht einem versteinerten Meere, so glatt und gleichmäßig gefriert sein Wasser. Längs dem Gestade, an den Wänden der Felsen und in den Schluchten zeigte sich eine Art von Anwurf, der

stellweise die Form eines Wasserfalles hatte: es war dies der Schaum des Sees, der während eines Sturmes sich an dem Gestade brechend, hier wahrscheinlich, ehe er Zeit gehabt zurückzufallen, fest gefroren war. Als unser Reisender sich in einem Schlitten über diesen See setzen ließ, hatte er das Gefühl, als säße er in einer Postchaise, um die Reise von Dieppe nach Amerika anzutreten. Unter der zwei oder drei Meter dicken Eisschicht ließ sich ein eigenthümliches Geräusch vernehmen und zuweilen setzte es harte Stöße ab, als reichte das Wasser stellweise nicht bis an die Eisdecke. „Die gefesselten Wasser erheben sich wüthend vom Grunde ihres Gefängnisses, um dessen Wände zu sprengen." Im Sommer dagegen erhält die Temperatur in Irkutzk sich oft mehrere Wochen hindurch auf 30 Grad, und Dampfschiffe durchschneiden die Wogen des Baikalsees. Viel größere Hitze noch würden die Südwinde bringen, wenn dieselben nicht durch die Altaiberge aufgehalten würden.

Die hohe Lage eines Ortes ist für ihn die Ursache einer kühleren Temperatur. Die Luft, welche in ihren oberen Schichten eine geringere Dichtigkeit besitzt, absorbirt hier auch weniger Wärme, so daß ihre Temperatur nach der Höhe zu abnehmen muß. Das bestätigen alle, theils durch Besteigung der Berge, theils durch Luftreisen ermöglichte Beobachtungen. Die Durchschnittstemperatur auf dem Großen Sanct-Bernhard beträgt nur 1 Grad. Das Gesetz dieser Variation hängt von einer Menge verschiedener Umstände ab, die hier nicht erörtert werden können. —

Wir beschließen dieses Buch mit einigen Betrachtungen über die Veränderungen, welche das Klima verschiedener Gegenden in den historischen Zeiten erlitten hat oder noch erleiden kann.

3. Veränderungen, welche die Wärmevertheilung auf der Erde erlitten hat. — Geologiſche Umwälzungen.

Zu Moſes Zeiten kamen Datteln und Trauben in Paläſtina zur Reife. Daraus können wir annähernd auf die damalige Durchſchnittstemperatur dieſer Gegend ſchließen. Heutzutage reift die Dattel in Catanea, das eine mittlere Temperatur von 18 Grad hat, nicht mehr; ſie braucht mindeſtens 21 Grad, wie in Algier, um zu vollſtändiger Reife zu gelangen. Die Temperatur Paläſtinas konnte zu damaliger Zeit alſo nicht weniger als 21 Grad betragen. Anderſeits hört der Weinbau in heißen Ländern, wo die Mitteltemperatur 22 Grad überſteigt, bereits auf. In Perſien repräſentirt 23 Grad die höchſte Grenze, und ſchon iſt man genöthigt, die Reben durch allerlei Vorrichtungen gegen die ſengende Gluth der Sonnenſtrahlen zu ſchützen. Folglich konnte die Durchſchnittstemperatur Paläſtinas in den bibliſchen Zeiten nicht mehr als 22 Grad betragen. Wir können ſie daher wohl zu $21\frac{1}{2}$ Grad annehmen. Für Jeruſalem ergeben aber die Beobachtungen der Jetztzeit ein wenig mehr als 21 Grad. Das Klima Paläſtinas hat alſo ſeit mehr als dreitauſend Jahren keine merkliche Veränderung erlitten.

In Frankreich ſcheint das Klima ſich etwas mehr geändert zu haben. Vor Jahren cultivirte man den Weinſtock in Vivarais bis zur Höhe von 600 Meter hinauf, während die Trauben da jetzt nicht mehr reifen. Der Wein von Sureſnes hat ſeit der Epoche, wo er auf Kaiſer Julians Tafel kam, ſehr an Güte verloren; ebenſo der Wein von Beauvais und Etampes, der zu Philipp Auguſts Zeiten geſchätzt wurde.

In England wurde früher ebenfalls an vielen Orten der

Weinstock cultivirt, wo man jetzt die Reben sorgfältig vor den kalten Winden schützen muß.

Die Urbarmachung der ehemals brach gelegenen Terrains, Ausrodung der Wälder, Austrocknung der Teiche und Sümpfe haben diese Aenderungen hervorgebracht. Eine üppige Vegetation, besonders Wälder, bewirken die Verdichtung des atmosphärischen Wasserdampfes und dieser Prozeß ist von einer bedeutenden Wärmeentwickelung begleitet. In waldreichen Gegenden hat man die ergiebigsten Quellen; ihre Wasser sammeln sich zu Flüssen an und unterhalten eine wohlthätige Feuchtigkeit in der Luft; außerdem schützen die Wälder gegen die Winde. Wenn die Hand des Menschen das Alles unterdrückt, so wird das Klima rauher, indem zu gleicher Zeit die Winde kälter und die Sommer heißer werden. Pflanzen, wie der Weinstock, bedürfen eines milden Klimas; nur dann reifen die Trauben, wenn die Sommerwärme bis in den Herbst hinein anhält und der Wechsel der Jahreszeiten sich nicht zu plötzlich und zu schroff bemerkbar macht.

Aus diesen Beobachtungen läßt sich eine wichtige Folgerung in Bezug auf die Sonnenwirkung und die Eigenwärme des Erdkernes ziehen. Ihre Veränderung seit Erschaffung des ersten Menschen ist unmerklich. Man könnte denken, daß die Erdwärme nach und nach durch Strahlung vollständig aufgehen müßte. Sauſſure und Fourier haben berechnet, daß die Erde in einem Jahrhunderte eine Wärmemenge verliert, die fähig wäre, eine die Erde umgebende Eisschicht von drei Meter Dicke zu schmelzen; sie ist tausendmal geringer als die, welche die Sonne in derselben Zeit auf die Erde absendet. Danach müßte die Temperaturerniedrigung der Erde in 57,600 Jahrhunderten einen Grad betragen. Zu welchem Zeitpunkt aber die Erde eine flüssige, glühendheiße

Maſſe war, die an der Oberfläche allmählich feſt zu werden begann, das zu berechnen iſt wohl ganz unmöglich.

Die Geſchichte der Veränderungen, welche unſere Erde ſeit dieſen unmeßbaren Zeiten erlitten hat, iſt in den zahlreichen Erdſchichten, die wie Blätter eines Buches in beſtimmter Ordnung über einander liegen, zu leſen. Geologie heißt die Wiſſenſchaft, die uns den Inhalt dieſes gigantiſchen Buches verſtändlich macht, die uns die Thiere und Pflanzen, welche nach einander Feſtländer und Meere bevölkerten, kennen lehrt; ſo wie auch die Umwälzungen, welche Berge aus dem Boden aufſteigen ließen und das Ausſehen unſeres Planeten zu verſchiedenen Epochen veränderten. Sie zeigt uns, daß wenn die Abkühlung des Erdkernes auch keinen merklichen Einfluß auf die Durchſchnittstemperatur der Atmoſphäre übt, ſie dagegen eine langſame Contraction bewirkt, die in langen Zwiſchenzeiten Revolutionen der feſten Erdkruſte verurſacht.

Wenn wir die Zahl annehmen, die wir für die Abkühlung der Erde gegeben haben, und der feſten Erdkruſte eine der des Glaſes gleiche Contraction zuſchreiben, ſo müßte der Erdradius, welcher mehr als 6300 Kilometer beträgt, in einem Jahre um den hundertſten Theil eines Millimeters abnehmen. Die Volumenabnahme, die aus dieſer Zuſammenziehung reſultirte, würde fünf Cubikkilometer betragen.

Denken wir uns nun eine, mit einer Flüſſigkeit, oder einem Gaſe gefüllte Hohlkugel, welche einige Riſſe zeigt. Sobald dieſe Kugel ſich zuſammenzieht, nimmt der Druck im Innern zu, und die Flüſſigkeit dringt durch die Riſſe hinaus.

Das giebt ein ungefähres Bild von dem, was ſich heutzutage mit unſerer Erde zuträgt. Dreihundert Vulkane ſind auf ihrer Oberfläche vertheilt, und jeder bildet einen Schlund,

aus dem die weißglühende Lava strömt, von Gasmischungen, Asche, und durch das Feuer verglasten Felsenstücken, begleitet. Die im Laufe eines Jahres ausgeworfene Masse beträgt etwa einen Cubikkilometer, und dieses Resultat bestätigt dasjenige, zu welchem wir durch andere Betrachtungen gelangt sind.

Damit endet aber noch nicht die Wirkung der Erdcontraction. Der flüssige Kern läßt, indem er sich zusammenzieht, einen leeren Raum zwischen seiner Oberfläche und der festen Erdkruste zurück, kann sich demnach in beständiger Schwankung befinden, wie der Ocean der Anziehung des Mondes nachgeben, seine Ebbe und Fluth, seine Wogen und Stürme haben. Alle nur denkbaren chemischen Reactionen können an der Oberfläche dieses Feuermeeres stattfinden; daher das unterirdische Getöse und die Erdbeben, welche in den Aequatorgegenden, wo die Geschwindigkeit der täglichen Rotation die größte und die Wirkung des Mondes am fühlbarsten ist, häufiger als sonst irgendwo vorkommen. Endlich hat auch die ungleiche Dicke der festen Erdschicht eine ungleichmäßige Zusammenziehung zur Folge, und es entstehen an einzelnen Stellen gewaltige Risse. Ueberall, wo solch eine Spalte entsteht, stürzen große Erdmassen in die Tiefe hinunter, andere erheben sich, Bergketten steigen aus dem Erdboden empor und Vulkane speien ihre Flammen. Die ungleiche Zusammenziehung verursacht also die Risse, der leere Raum unter der Erdkruste den Einsturz, und der vulkanische Auswurf ist nur ein Resultat dieser Ortsveränderung, insofern als die geschmolzene Materie erst nach Bildung der Risse in dieselben hineintritt, aber nicht zu ihrer Entstehung beiträgt.

Solch eine geologische Umwälzung verändert auch die Vertheilung der Gewässer auf der Erde. Neue Festländer steigen

aus der Tiefe der Meere an die Oberfläche, andere verschwinden. Dann kommt eine Periode der Ruhe, bis die fortgesetzte Zusammenziehung der Erdkruste wieder einmal dieselben Erscheinungen hervorruft.

Die Arbeiten Elie de Beaumont's und anderer Geologen haben die Spuren von dreizehn großen Umwälzungen nachgewiesen; die Zeitintervalle, die sie von einander trennten, sind nicht bekannt, wir können nur annehmen, daß sie sehr beträchtlich waren.

So stimmen die geologischen und physikalischen Beobachtungen überein, um die Langsamkeit der Abkühlung unserer Erde zu beweisen. Und wir können diesen Beweisen noch einen dritten hinzufügen, der auf astronomischen Gründen beruht.

Die Contraction der Erde müßte eine Beschleunigung der täglichen Rotation zur Folge haben und damit auch eine Verkürzung der Tagesdauer. Nun hat aber diese Dauer nach Laplace's Berechnung seit zweitausend Jahren noch nicht um $\frac{1}{3600}$stel einer Secunde abgenommen, ein Effect, der also nicht in Rechnung kommt.

Die Vertheilung der Sonnenwärme auf der Erdoberfläche ist im Gegentheil sehr großen Abwechslungen unterworfen. Wahrscheinlich kühlt die Sonne sich eben so langsam als die Erde ab; die von ihr ausgesandte Wärmemenge wird daher wenig variiren; sie trifft aber nach jeder geologischen Umwälzung andere Festländer und andere Meere, die Klimata müssen sich daher vollständig ändern. Unter den Aenderungen dieser Art, welche der Erschaffung des Menschen am nächsten liegen, können wir eine Senkung der ganzen Schweiz anführen, deren Spuren an den Wänden der Alpen und des Juragebirges zu erkennen sind.

Der Reisende, welcher ins Rhonethal hinabsteigt, kann noch die Reste früherer Gletscher bis hinunter zum Genfersee betrachten. Die Felsen, welche das Thal begrenzen, sind stellenweise ausgehöhlt und tief gefurcht, anderwärts glatt und wie polirt, oder geritzt und gestreift. Ueberall bieten sie denselben Anblick wie die Felswände, welche sich am Rand der heutigen Gletscher erheben und von dem Eise unter unseren Augen bearbeitet werden. Jenseits des Genfersees, auf den kalkigen Abhängen des Juragebirges, finden sich sogar Blöcke von demselben Granit, der die Gipfel der Alpen bildet, als wären diese Stücke davon losgelöst und in großer Entfernung wieder niedergesetzt. Noch heutzutage werden ähnliche Transporte durch die Gletscher ausgeführt; langsam in ihrem abschüssigen Bette niedergleitend, brechen sie Stücke von den Felsen, die ihnen im Wege stehn, führen sie mit sich fort und setzen sie bei ihrer Schmelzung als Moränen ab. Alles scheint darauf hinzudeuten, daß das Rhonethal ehemals ein großer Gletscher war, der die Felstrümmer auf den Abhängen des Jura niedergelegt hat. Aehnliche Spuren hat man in der ganzen Schweiz, in England, dem Libanon und Nordamerika angetroffen, und schließt daraus, daß alle diese Gegenden zu einer gewissen Zeit von riesenhaften Gletschern bedeckt waren. Dies war die Eiszeit.

Müssen wir uns zur Erklärung dieser Epoche eine vorübergehende Abkühlung denken, eine Abnahme der Sonnenwirkung, oder vielleicht einen Durchgang der Erde durch außerordentlich kalte Himmelsregionen? Tyndall hat eine Bemerkung gemacht, die diese Frage aufklärt. Die Gletscher sind Condensatoren des Oceans; damit die großen Eismassen sich auf den Gebirgen ansammeln können, muß sich zuerst eine Menge Wasserdampf an der Oberfläche der Meere

bilden und folglich die Sonne viel Wärme liefern. Die Annahme, daß die Gletscher durch Unterdrückung dieser Wärme anwachsen müssen, wäre gerade so falsch, als wenn man in einem Destillirapparate durch Verminderung des Feuers unter dem Dampfkessel das Destillat vermehren wollte. Die Sonne konnte während der Gletscherepoche nicht weniger wirken als heutzutage. Die einzig denkbare Ursache, sagt Tyndall, wäre eine vollkommnere Verdichtung; dazu gnügte, daß die Gebirge zu jener Zeit höher gewesen wären als jetzt.

Die Schweiz und die andern Gegenden, in denen sich Spuren früherer Gletscher finden, haben also eine durch die Contraction der festen Erdkruste erklärliche Senkung erlitten. In Folge dessen wärmer geworden, konnten sie die atmosphärischen Wasserdämpfe nicht mehr im Zustande von Eis zurückhalten; dem reichlichen Schneefall folgten Regengüsse, und das Klima änderte sich.

Die Wechsel des Klimas haben augenscheinlich die geologische Veränderung der Festländer und Meere begleitet, und bei jeder Umwälzung sind gewisse Gattungen von Thieren und Pflanzen verschwunden, weil sie nicht mehr die ihnen nothwendigen Lebensbedingungen finden konnten, und andere, den Umständen besser angepaßte, sind an ihrer Stelle erschienen. In den vom Wasser abgesetzten Schichten finden wir die Ueberreste dieser untergegangenen Gattungen; durch Vergleichung mit den lebenden können wir ihre Eigenschaften und Lebensweise errathen, und daraus wieder auf die damaligen Klimata schließen. So kann der Geologe, die Bewohner der Erde nach jeder Umwälzung wiederherstellend, beweisen, daß die Temperatur anfangs auf der ganzen Oberfläche des Erdballs die gleiche war, und daß die Klimata sich

nur stufenweise zu ihrer jetzigen Mannigfaltigkeit umgeändert haben.

Erklärt man dieses Resultat nicht am einfachsten durch die Annahme, daß die Erde ursprünglich eine flüssige Masse war, deren Oberfläche allmählich fest wurde? So lange die Kruste von geringer Dicke war, theilte die Wärme des flüssigen Kernes sich der Atmosphäre mit, und der Einfluß der Jahreszeiten war kaum merkbar, je mehr aber die feste Schicht an Dicke zunahm, wurde dieser Einfluß fühlbarer. Jede Aenderung in den die Meere bildenden Wassermassen, in der Zusammensetzung der Atmosphäre, der Erhebung eines Festlandes, mußte auch einen Klimawechsel zur Folge haben. Seit Erschaffung des Menschen haben keine geologischen Umwälzungen mehr stattgefunden, die sich mit den vor seiner Zeit erfolgten messen könnten. Es scheint, daß der Wärmezustand der Erde stationär geworden ist, und ebenso scheint es, als ob die feste Kruste jetzt die gehörige Dicke erlangt hat, um sich nicht mehr, wie ehemals, zusammenzuziehen und zu spalten, und um die Centralhitze vollständig hemmen zu können.

4. Die Zukunft der Erde.

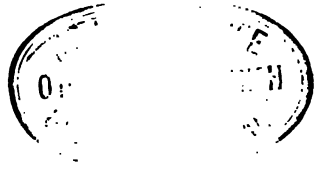
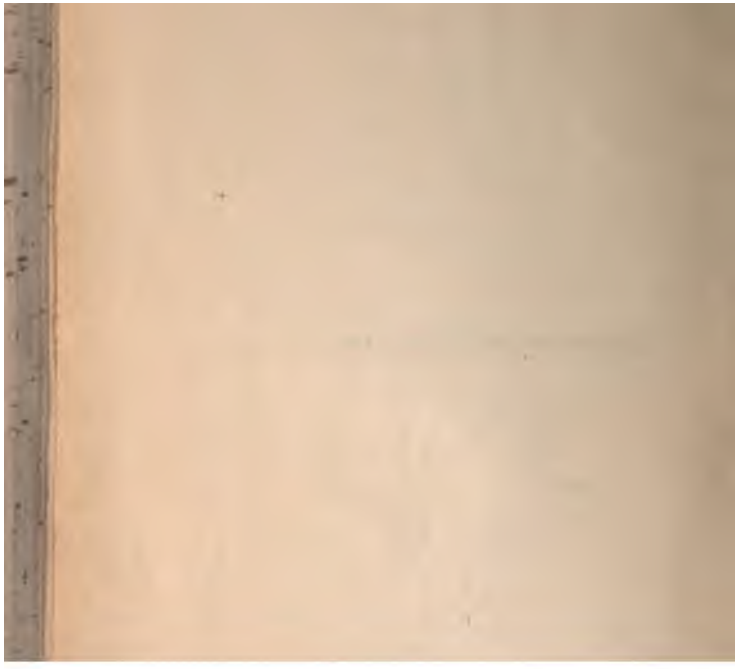
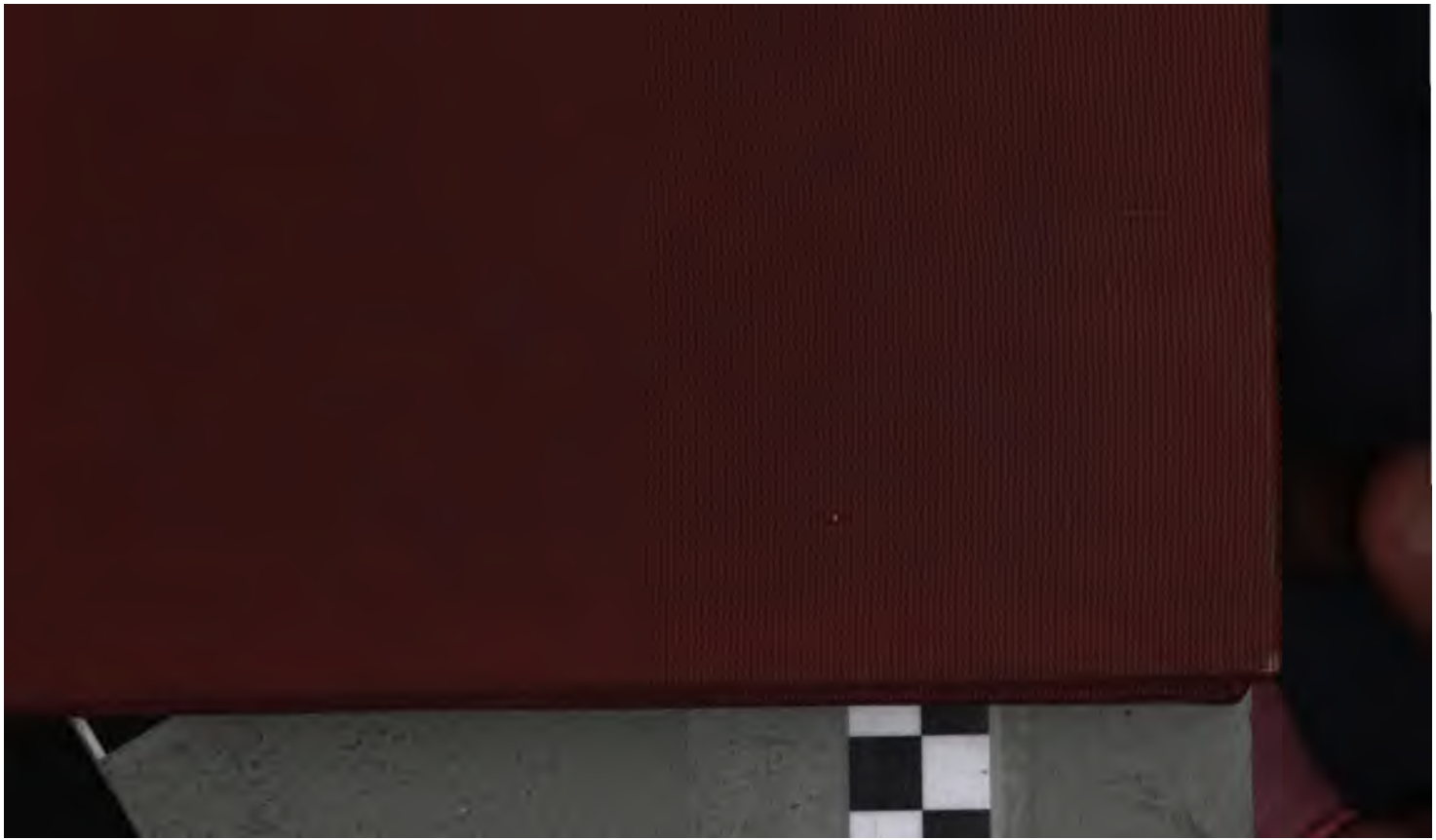
Die Zukunft unserer Erde ist eine Frage, die wir uns nicht zu lösen vermessen. Jedoch ist es wol erlaubt, neben den schon gewonnenen Resultaten der Wissenschaft auch einen Blick auf die möglicherweise noch zu erwartenden zu werfen. Vor Allem muß zwischen einfachen Vermuthungen und den wirklich beobachteten Thatsachen unterschieden werden. Zu letzteren zählen wir zunächst die von den Geologen entdeckten. Die Zeit, welche seit Erschaffung des Menschen verflossen, ist unendlich geringer, als die Intervalle, in denen zwei

geologiſche Umwälzungen auf einander folgten. Außerdem haben die letzten dieſer Revolutionen viel weniger Aenderungen in den Lebensbedingungen der organiſirten Weſen hervorgebracht, als die erſten. So viel für die Vergangenheit. Wenden wir uns jetzt zur Gegenwart. Dieſelben Erſcheinungen, welche früher die Revolutionen des Erdballs begleiteten, ereignen ſich heute noch unter unſern Augen. Reihen wir an dieſe Thatſachen noch einige aus dem Gebiete der Phyſik. Sonne und Erde haben höhere Temperaturen als die Himmelsräume; ſie müſſen ſich abkühlen, bis ſie die Temperatur der Himmelsräume erlangt haben; aber die allerempfindlichſten Inſtrumente verrathen eine ſolche Abkühlung nicht. Dieſe Thatſachen genügen noch lange nicht zur Löſung der vorgelegten Frage; wir müſſen daher von hier an das Gebiet der Hypotheſe betreten. Wenn die Erde eine flüſſige Kugel iſt, von einer dünnen, feſten Schale umgeben, was die geologiſchen Umwälzungen früherer Zeiten recht gut erklärt, ſo müſſen dieſelben Erſcheinungen ſich auch in ſpäteren Jahrhunderten wiederholen; die Geſchwindigkeit der täglichen Rotation muß allmählich zunehmen, vorausgeſetzt, daß die Sonne fortfährt, in derſelben Weiſe auf unſern Planeten zu wirken. Die Abplattung der Pole wird gleichfalls zunehmen und eine Aenderung in der Wärmevertheilung nach ſich ziehen, derart, daß die Temperatur der Polarregionen immer mehr von der des Aequators abweicht. Ferner muß die Bahn, welche die Erde um die Sonne beſchreibt, länglicher werden, ſo daß die Winter kälter und die Sommer heißer werden. Einmal auf dieſes Gebiet gerathen, wird es dem menſchlichen Geiſte ſchwer, ſtillzuſtehen; alle Hinderniſſe ſcheinen wie ein Traum zu verſchwinden und die Grenzen der Möglichkeit weichen immer mehr zurück. Aber

freilich bleibt das Alles nur ein Luftbild, ein Spiel der Einbildung.

Können wir also nicht mit Bestimmtheit sagen, wie unsere Erde in späteren Zeiten aussehen wird, so lassen sich doch aus den bekannten Thatsachen einige Folgerungen ziehen. Allem Anscheine nach wird keine geologische Revolution früher, als nach einem größeren Zeitraume, wie der, welcher zwischen uns und der Erschaffung der ersten Menschen liegt, eintreten und wahrscheinlich nicht mehr so bedeutende Veränderungen wie ehemals bewirken, so daß die Existenz der dann lebenden Wesen weniger gefährdet sein wird.

Fort darum mit allen thörichten Befürchtungen! Sie sind Erzeugnisse der Unwissenheit und des Aberglaubens. Wir leben aber, Gott sei Dank, in einem Jahrhundert, wo die Wissenschaft Ströme von Licht nach allen Seiten versendet. Die Forschung befestigt in unsern Herzen die Gewißheit, daß ein Gott über uns waltet, und erhebt uns stufenweise von der materiellen zu der moralischen Welt. In diesem Sinne dürfen wir sagen, daß Wissenschaft und Religion Schwestern sind.



Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.